

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**Casas de madeira em Portugal**  
**Metodologia de apoio ao projecto de Arquitectura**  
**Volume 1**

Luís Manuel Jorge Morgado

**Orientador:** Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

**Co-Orientadores:** Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Doutora Helena Maria Pires Cruz

**Tese aprovada em provas públicas para obtenção do Grau de Doutor em  
Arquitectura**

**Qualificação atribuída pelo Júri:** Aprovado com distinção

**Júri**

**Presidente:** Presidente do Conselho Científico do IST

**Vogais:**

Doutor Paulo Jorge Sousa Cruz

Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

Doutor Paulo Manuel dos Santos Pereira de Almeida

Doutor Vítor Manuel de Matos Carvalho Araújo

Doutor Luís Filipe de Carvalho Jorge





UNIVERSIDADE DE LISBOA  
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**Casas de madeira em Portugal**  
**Metodologia de apoio ao projecto de Arquitectura**

**Volume 1**

Luís Manuel Jorge Morgado

**Orientador:** Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

**Co-Orientadores:** Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Doutora Helena Maria Pires Cruz

**Tese aprovada em provas públicas para obtenção do Grau de Doutor em  
Arquitectura**

**Qualificação atribuída pelo Júri:** Aprovado com distinção

**Júri**

**Presidente:** Presidente do Conselho Científico do IST

**Vogais:**

Doutor Paulo Jorge Sousa Cruz, Professor Catedrático da Escola de Arquitectura da Universidade do Minho

Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira, Professor Associado (com agregação) do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes, Professor Associado do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Doutor Paulo Manuel dos Santos Pereira de Almeida, Professor Auxiliar da Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa

Doutor Vítor Manuel de Matos Carvalho Araújo; Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Doutor Luís Filipe de Carvalho Jorge, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

**Instituição financiadora:** Fundação para a Ciência e a Tecnologia

**2016**

Investigação financiada por:

Fundação para a Ciência e a Tecnologia

SFRH/BD/77283/2011

## RESUMO

O objectivo da tese consistiu em desenvolver um método de projecto de Arquitectura para a construção de casas de madeira, destinado a ser utilizado pelos arquitectos portugueses no contexto nacional. A necessidade de enquadrar o problema obrigou a uma tarefa prévia de selecção e organização do conhecimento sobre o sector da construção de casas de madeira numa perspectiva arquitectónica. Com base nesse enquadramento e depois de efectuado o estado da arte e concluídos os casos de estudo foi então definido o método de projecto.

Assim, procedeu-se à clarificação, descrição, ordenação e definição de terminologias respeitantes a conceitos relacionados com as tipologias arquitectónicas e com os sistemas construtivos de madeira. Para consolidar o conhecimento do objecto da investigação foi efectuada uma revisão da literatura mais significativa, nas áreas da História da Arquitectura e da construção em madeira, com um foco na tipologia da habitação unifamiliar. Para conhecer o mercado da oferta e da procura, no qual se integra o objecto de estudo, foram conduzidos inquéritos e entrevistas a intervenientes no mercado das casas de madeira em Portugal. Foi depois elaborado um caso de estudo que consistiu em desenvolver, ao nível de estudo prévio, um projecto de Arquitectura. Para apoiar as definições preliminares de projecto recorreu-se à literatura considerada mais relevante, referente aos principais sistemas construtivos (reticulados leves, porticados, paredes pesadas de toros e painéis pesados de lamelados colados). A partir dos problemas identificados (nos inquéritos e nos casos de estudo) desenvolveu-se então um método de projecto. Este foi apresentado através de tabelas de apoio à decisão e de listas de procedimentos que abrangem a concepção de soluções formais e construtivas e incluem preocupações de durabilidade, economia e integridade construtiva, cobrindo também os aspectos da avaliação e da selecção de soluções.

Do ponto de vista do método, o programa base e o estudo prévio são consideradas as fases centrais do projecto. Ao nível do programa base, a elaboração de um catálogo de tipologias arquitectónicas faculta uma abordagem que torna mais eficaz o processo de escolha, tendo em vista garantir a satisfação do cliente. Esta abordagem tipológica clarifica o diálogo entre o arquitecto e o cliente permitindo definir regras que promovem tanto a personalização como a qualidade formal das soluções. Ao nível do estudo prévio a adopção de matrizes de decisão ponderadas e de estratégias de durabilidade, de integridade construtiva e de economia visa garantir a qualidade construtiva das soluções. A independência relativamente às empresas de construção e fabrico de casas de madeira é um dos pressupostos do método, no entanto preconiza-se a colaboração estreita com essas mesmas empresas, pelas mais-valias em termos de qualidade e durabilidade que podem acrescentar aos projectos.

Palavras chave: casas de madeira, metodologia, projecto de arquitectura, tipologia, estrutura.

## ABSTRACT

The aim of the thesis was to develop an architectural design method for the construction of wood houses, intended to be used by portuguese architects in the national context. The need to contextualize the problem required a prior task of selection and organization of the knowledge about the sector of wood houses, framed by an architectural perspective. The definition of the design method was only possible after the conclusion of the following tasks: contextualization, state of the art and development of case studies.

The contextualization phase required the clarification and proposal of specific terminologies involving concepts related to architectural typologies and construction systems in wood. To consolidate the knowledge about the research object a review of the most significant literature in the areas of Architectural History and wood construction was carried out, with a focus on the single-family houses typology. The wood house market was explored through the use of surveys and interviews with national construction and manufacturing companies. Then a case study was prepared based on a single family house in which four different wood construction systems were used. The preliminary definitions of the project were supported by relevant manuals about the main building systems (wood frame, post and beam, logs and cross laminated timber). Based on the problems identified in the surveys and in the case studies it was then possible to define a design method. The method is presented by means of decision support tables and lists of procedures covering the design of architectural solutions supported by specific quality strategies. The assessment and the selection of the “best” solutions are also considered by the use of a multicriteria decision support process.

The proposed method is focused on the program and sketch design phases. In the program phase, the development of a catalogue of architectural typologies, including construction and formal systems, allows an approach that makes the choice process more effective, intended to ensure customer satisfaction. This typological approach clarifies the dialogue between the architect and the client, allowing to set design rules that promotes the customization and the formal quality of the solutions. When in the sketch design phase, the adoption of weighted decision matrices and durability strategies, construction integrity strategies and economy strategies, aims to safeguard construction quality.

The client's independence towards the wood house companies is one of the assumptions of the method, however it presumes a close collaboration between both parts. The collaboration between architects and these companies can be beneficial for the quality and durability of wood houses because of the integration of their experience and expertise.

Keywords: wood houses, methodology, architectural design, typology, structure.

## Índice simplificado

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ENQUADRAMENTO.....</b>	<b>7</b>
1.1 TRADIÇÕES DA HABITAÇÃO EM MADEIRA .....	8
1.2 ESPECIFICIDADES NACIONAIS .....	88
<b>2 TIPOLOGIAS ARQUITECTÓNICAS .....</b>	<b>145</b>
2.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	147
2.2 SISTEMAS FORMAIS.....	196
<b>3 DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....</b>	<b>209</b>
3.1 SISTEMA DE RETICULADOS LEVES .....	211
3.2 SISTEMA DE PORTICADOS .....	267
3.3 SISTEMA DE PAREDES PESADAS DE TOROS .....	306
3.4 SISTEMA DE PAINÉIS PESADOS LAMELADOS CRUZADOS .....	333
<b>4 METODOLOGIAS DE PROJECTO .....</b>	<b>359</b>
4.1 REVISÃO SOBRE METODOLOGIAS .....	361
4.2 A EXPERIÊNCIA DAS EMPRESAS NACIONAIS.....	403
<b>5 CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>431</b>
5.1 DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	432
5.2 PROJECTO COM RETICULADOS LEVES .....	449
5.3 PROJECTO COM PORTICADOS .....	472
5.4 PROJECTO COM PAREDES PESADAS DE TOROS .....	493
5.5 PROJECTO COM PAINÉIS PESADOS LAMELADOS COLADOS .....	511
<b>6 MÉTODO PROPOSTO .....</b>	<b>525</b>
6.1 PROCESSO DE PROJECTO.....	526
6.2 DEFINIÇÃO DO PROGRAMA.....	554
6.3 DEFINIÇÃO DO ESTUDO PRÉVIO.....	570
6.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO AO CASO DE ESTUDO .....	592
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>609</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>613</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>627</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>636</b>
<b>ÍNDICE DE FLUXOGRAMAS .....</b>	<b>637</b>

## Índice completo

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 TRADIÇÕES DA HABITAÇÃO EM MADEIRA.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.1 TEORIA E PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA .....</b>	<b>9</b>
1.1.1.1 Teoria da Arquitectura.....	9
1.1.1.2 Madeira - Fragilidade e potencial .....	10
1.1.1.3 Aço e betão - Eficiência e expressão .....	12
1.1.1.4 Século XIX - Verdade e pragmatismo .....	14
1.1.1.5 Século XX - Decadência e Recuperação.....	16
<b>1.1.2 PRINCÍPIOS CONSTRUTIVOS .....</b>	<b>16</b>
1.1.2.1 Estruturas de Reticulados.....	19
1.1.2.2 Estruturas de Porticados.....	28
1.1.2.3 Estruturas de Paredes.....	30
1.1.2.4 Sistemas Híbridos .....	39
<b>1.1.3 CONDICIONANTES DA FORMA .....</b>	<b>39</b>
1.1.3.1 Disponibilidade de materiais .....	40
1.1.3.2 Resposta ambiental.....	45
1.1.3.3 Resposta cultural .....	50
1.1.3.4 Resposta funcional .....	55
1.1.3.5 Resposta à degradação.....	57
1.1.3.6 Eficácia tecnológica .....	60
1.1.3.7 Eficácia económica.....	64
<b>1.1.4 TRADIÇÕES REGIONAIS .....</b>	<b>67</b>
<b>1.1.5 AS DUAS PERSPECTIVAS DA MORADIA .....</b>	<b>70</b>
1.1.5.1 Habitações unifamiliares comuns (séc. XIX-XX) .....	70
1.1.5.2 Habitações unifamiliares Modernas (séc. XX) .....	73
<b>1.1.6 DECLÍNIO E RENASCIMENTO DO USO DA MADEIRA .....</b>	<b>80</b>
1.1.6.1 O declínio do uso da madeira .....	80
1.1.6.2 O renascimento da madeira.....	82
<b>1.1.7 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS - SÍNTESE.....</b>	<b>83</b>
<b>1.2 ESPECIFICIDADES NACIONAIS.....</b>	<b>88</b>
<b>1.2.1 CULTURA .....</b>	<b>88</b>
1.2.1.1 A tradição da construção em madeira em Portugal.....	88
<b>1.2.2 A HABITAÇÃO INTEGRAL EM MADEIRA EM PORTUGAL .....</b>	<b>96</b>
<b>1.2.3 A HABITAÇÃO EM MADEIRA E OS ARQUITECTOS PORTUGUESES HOJE.....</b>	<b>104</b>
<b>1.2.4 FLORESTA .....</b>	<b>109</b>
1.2.4.1 A evolução da floresta nacional .....	109
1.2.4.2 A utilização da floresta nacional .....	110

1.2.4.3	A floresta nacional actual .....	114
1.2.4.4	Floresta nacional no contexto internacional .....	116
1.2.4.5	Espécies de madeira nacionais .....	117
<b>1.2.5</b>	<b>REGULAMENTOS.....</b>	<b>118</b>
1.2.5.1	Uso (Capacidade, Funcionalidade, Acessibilidade) .....	119
1.2.5.2	Conforto (Higrotérmico, Qualidade do ar, Acústico) .....	120
1.2.5.3	Segurança estrutural .....	120
1.2.5.4	Durabilidade.....	122
1.2.5.5	Segurança contra riscos de incêndio .....	123
1.2.5.6	Ambiente (Resíduos de construção e sistemas de avaliação) .....	124
1.2.5.7	Estética .....	126
1.2.5.8	Processo (Produtos, Pré-fabricação, Transporte) .....	126
<b>1.2.6</b>	<b>CLIMA .....</b>	<b>127</b>
1.2.6.1	Zonamento climático .....	128
1.2.6.2	Zonas climáticas definidas no RCCTE e estratégias bioclimáticas: .....	129
<b>1.2.7</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO .....</b>	<b>131</b>
1.2.7.1	As empresas do sector em Portugal .....	132
1.2.7.2	Os sistemas construtivos .....	134
1.2.7.3	Licenciamento e certificação das casas de madeira .....	136
1.2.7.4	O mercado das casas de madeira.....	137
1.2.7.5	Perspectivas de futuro.....	141
1.2.7.6	Intervenção dos Arquitectos .....	142
1.2.7.7	Panorama Internacional .....	143
<b>2</b>	<b>TIPOLOGIAS ARQUITECTÓNICAS .....</b>	<b>145</b>
<b>2.1</b>	<b>SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....</b>	<b>147</b>
<b>2.1.1</b>	<b>CONCEITOS .....</b>	<b>147</b>
2.1.1.1	Construção em madeira.....	148
2.1.1.2	Sistema construtivo .....	148
2.1.1.3	Sistema estrutural ou tipo estrutural .....	148
2.1.1.4	Processo de construção.....	149
2.1.1.5	Produtos de construção .....	149
2.1.1.6	Componente de construção.....	150
2.1.1.7	Componentes de madeira.....	150
2.1.1.8	Componentes e tipos .....	151
2.1.1.9	Elementos de construção.....	153
<b>2.1.2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DE TIPOS ESTRUTURAIS .....</b>	<b>153</b>
2.1.2.1	O problema da classificação .....	153
2.1.2.2	Síntese do levantamento .....	155
2.1.2.3	Classificação.....	156
2.1.2.4	Alternativa de classificação.....	158
2.1.2.5	Reticulados leves .....	160
2.1.2.6	Porticados .....	164

2.1.2.7	Reticulados pesados .....	169
2.1.2.8	Paredes leves .....	172
2.1.2.9	Painéis leves .....	175
2.1.2.10	Paredes pesadas .....	180
2.1.2.11	Painéis pesados .....	183
2.1.2.12	Módulos tridimensionais e tipos mistos .....	187
2.1.2.13	Esquemas e exemplos dos tipos estruturais identificados .....	190
<b>2.1.3</b>	<b>SÍNTESE DE CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS .....</b>	<b>193</b>
2.1.3.1	Características dos tipos estruturais .....	193
2.1.3.2	Características dos tipos de envolvente .....	194
2.1.3.3	Características dos tipos de compartimentação .....	195
<b>2.2</b>	<b>SISTEMAS FORMAIS .....</b>	<b>196</b>
<b>2.2.1</b>	<b>TIPOS FUNCIONAIS .....</b>	<b>196</b>
2.2.1.1	Características tipológicas .....	196
2.2.1.2	Síntese de tipos funcionais .....	196
<b>2.2.2</b>	<b>TIPOS ESPACIAIS .....</b>	<b>198</b>
2.2.2.1	Características tipológicas .....	198
2.2.2.2	Síntese de tipos espaciais .....	198
<b>2.2.3</b>	<b>TIPOS SIMBÓLICOS .....</b>	<b>199</b>
2.2.3.1	Características tipológicas .....	199
2.2.3.2	Síntese dos tipos simbólicos .....	201
<b>2.2.4</b>	<b>MODELOS .....</b>	<b>204</b>
2.2.4.1	Exemplos de tipos simbólicos .....	205
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....</b>	<b>209</b>
<b>3.1</b>	<b>SISTEMA DE RETICULADOS LEVES .....</b>	<b>211</b>
<b>3.1.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM RETICULADOS .....</b>	<b>211</b>
3.1.1.1	Descrição geral - Reticulados .....	212
3.1.1.2	Grelha estrutural - Reticulados .....	215
3.1.1.3	Elementos estruturais - Reticulados .....	216
3.1.1.4	Fundações - Reticulados .....	216
3.1.1.5	Pavimentos - Reticulados .....	220
3.1.1.6	Paredes - Reticulados .....	227
3.1.1.7	Cobertura - Reticulados .....	237
3.1.1.8	Detalhes - Reticulados .....	244
3.1.1.9	Infra-estruturas - Reticulados .....	248
3.1.1.10	Remates de estanquidade - Reticulados .....	249
<b>3.1.2</b>	<b>PRODUTOS UTILIZADOS COM RETICULADOS .....</b>	<b>252</b>
3.1.2.1	Produtos estruturais de madeira - Reticulados .....	253
3.1.2.2	Isolamentos térmicos .....	254
<b>3.1.3</b>	<b>EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - RETICULADOS .....</b>	<b>254</b>
3.1.3.1	Estabilidade - Reticulados .....	255
3.1.3.2	Segurança contra incêndio - Reticulados .....	255



3.1.3.3	Saúde - Reticulados .....	256
3.1.3.4	Ambiente - Reticulados .....	256
3.1.3.5	Proteção contra o ruído (Isolamento acústico) - Reticulados .....	257
3.1.3.6	Economia de energia e isolamento térmico - Reticulados .....	257
3.1.3.7	Barreira ao ar e estanquidade - Reticulados .....	258
3.1.3.8	Durabilidade - Reticulados .....	262
<b>3.1.4</b>	<b>PROCESSOS - RETICULADOS .....</b>	<b>263</b>
<b>3.2</b>	<b>SISTEMA DE PORTICADOS.....</b>	<b>267</b>
<b>3.2.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM PORTICADOS.....</b>	<b>267</b>
3.2.1.1	Descrição geral - Porticados .....	267
3.2.1.2	Grelha estrutural - Porticados .....	271
3.2.1.3	Elementos estruturais - Porticados .....	273
3.2.1.4	Fundações - Porticados .....	283
3.2.1.5	Pavimentos - Porticados .....	284
3.2.1.6	Paredes - Porticados .....	286
3.2.1.7	Cobertura - Porticados .....	288
3.2.1.8	Outros detalhes - Porticados .....	289
3.2.1.9	Infra-estruturas - Porticados.....	290
<b>3.2.2</b>	<b>PRODUTOS UTILIZADOS COM PORTICADOS .....</b>	<b>291</b>
3.2.2.1	Produtos estruturais de madeira - Porticados .....	291
<b>3.2.3</b>	<b>EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - PORTICADOS.....</b>	<b>298</b>
3.2.3.1	Estabilidade - Porticados .....	298
3.2.3.2	Segurança contra Incêndio - Porticados .....	299
3.2.3.3	Durabilidade - Porticados .....	300
<b>3.2.4</b>	<b>PROCESSOS - PORTICADOS .....</b>	<b>302</b>
<b>3.3</b>	<b>SISTEMA DE PAREDES PESADAS DE TOROS .....</b>	<b>306</b>
<b>3.3.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM TOROS .....</b>	<b>306</b>
3.3.1.1	Descrição geral - Toros .....	306
3.3.1.2	Grelha estrutural - Toros .....	310
3.3.1.3	Elementos estruturais - Toros .....	310
3.3.1.4	Fundações - Toros .....	312
3.3.1.5	Pavimentos - Toros .....	313
3.3.1.6	Paredes - Toros .....	314
3.3.1.7	Cobertura - Toros .....	318
3.3.1.8	Outros detalhes - Toros.....	320
3.3.1.9	Infra-estruturas - Toros.....	321
<b>3.3.2</b>	<b>PRODUTOS UTILIZADOS - TOROS .....</b>	<b>322</b>
<b>3.3.3</b>	<b>EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - TOROS.....</b>	<b>323</b>
3.3.3.1	Estabilidade - Toros.....	323
3.3.3.2	Segurança contra incêndio - Toros .....	324
3.3.3.3	Isolamento térmico e acústico - Toros.....	325
3.3.3.4	Durabilidade - Toros .....	325

<b>3.3.4</b>	<b>PROCESSOS - TOROS.....</b>	<b>328</b>
<b>3.4</b>	<b>SISTEMA DE PAINÉIS PESADOS LAMELADOS CRUZADOS.....</b>	<b>333</b>
<b>3.4.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS CLT .....</b>	<b>333</b>
3.4.1.1	Descrição Geral - Painéis CLT .....	335
3.4.1.2	Grelha estrutural - Painéis CLT .....	337
3.4.1.3	Elementos estruturais - Painéis CLT .....	338
3.4.1.4	Pavimentos - Painéis CLT .....	340
3.4.1.5	Paredes - Painéis CLT .....	341
3.4.1.6	Cobertura - Painéis CLT .....	346
3.4.1.7	Outros detalhes - Painéis CLT .....	347
3.4.1.8	Infraestruturas - Painéis CLT .....	348
<b>3.4.2</b>	<b>EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - PAINÉIS CLT .....</b>	<b>349</b>
3.4.2.1	Estabilidade - Painéis CLT .....	349
3.4.2.2	Segurança contra incêndio - Painéis CLT .....	350
3.4.2.3	Isolamento térmico e estanquidade - Painéis CLT .....	351
3.4.2.4	Isolamento acústico - Painéis CLT .....	352
3.4.2.5	Durabilidade - Painéis CLT .....	353
<b>3.4.3</b>	<b>PROCESSOS - PAINÉIS CLT .....</b>	<b>353</b>
3.4.3.1	Processos de fabrico - Painéis CLT .....	353
3.4.3.2	Serviços - Painéis CLT .....	353
3.4.3.3	Transporte - Painéis CLT .....	354
3.4.3.4	Processo de construção - Painéis CLT .....	355
3.4.3.5	Princípios de projecto - Painéis CLT .....	355
<b>4</b>	<b>METODOLOGIAS DE PROJECTO .....</b>	<b>359</b>
<b>4.1</b>	<b>REVISÃO SOBRE METODOLOGIAS .....</b>	<b>361</b>
<b>4.1.1</b>	<b>ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>361</b>
4.1.1.1	Metodologia de projecto .....	361
4.1.1.2	Decisão multicritério .....	364
4.1.1.3	Avaliação de sistemas construtivos .....	365
4.1.1.4	Formulação exigencial .....	368
4.1.1.5	Fases do Projecto .....	373
<b>4.1.2</b>	<b>ESPECIFICIDADE DO PROJECTO DE CONSTRUÇÃO EM MADEIRA .....</b>	<b>380</b>
4.1.2.1	Sistemas de construção .....	380
4.1.2.2	Intervenientes .....	383
4.1.2.3	Projecto .....	388
4.1.2.4	Escolha do sistema construtivo .....	392
4.1.2.5	Durabilidade .....	396
<b>4.1.3</b>	<b>CATÁLOGOS E TIPOLOGIAS .....</b>	<b>397</b>
4.1.3.1	Revisão sobre o processo de catálogo .....	397
4.1.3.2	Revisão sobre o conceito de tipo em Arquitectura .....	400
<b>4.2</b>	<b>A EXPERIÊNCIA DAS EMPRESAS NACIONAIS .....</b>	<b>403</b>
<b>4.2.1</b>	<b>ENTREVISTA ESTRUTURADA ÀS EMPRESAS .....</b>	<b>403</b>

4.2.1.1	Metodologia das entrevistas .....	403
4.2.1.2	Empresa.....	405
4.2.1.3	Sistemas construtivos .....	405
4.2.1.4	Clientes .....	406
4.2.1.5	Processo de fabrico e construção .....	407
4.2.1.6	Método e concepção do projecto .....	408
4.2.1.7	O papel do Arquitecto.....	409
4.2.1.8	Escolha e avaliação de sistemas estruturais .....	410
4.2.1.9	Comparação de sistemas estruturais .....	412
4.2.1.10	Processo de projecto .....	413
4.2.1.11	Síntese das entrevistas .....	413
<b>4.2.2</b>	<b>ENTREVISTAS SELECCIONADAS .....</b>	<b>416</b>
4.2.2.1	Empresa CASEMA.....	416
4.2.2.2	Empresa RUSTICASA .....	421
4.2.2.3	Empresa TISEM .....	424
4.2.2.4	Síntese das entrevistas .....	429
<b>5</b>	<b>CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>431</b>
<b>5.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>432</b>
<b>5.1.1</b>	<b>A HABITAÇÃO UNIFAMILIAR EM PORTUGAL .....</b>	<b>432</b>
5.1.1.1	Conceitos .....	432
5.1.1.2	Dados utilizados .....	432
5.1.1.3	A habitação unifamiliar .....	433
5.1.1.4	Actualização de dados .....	439
<b>5.1.2</b>	<b>DEFINIÇÕES PARA O PROGRAMA PRELIMINAR.....</b>	<b>439</b>
5.1.2.1	Contexto.....	439
5.1.2.2	Cliente .....	440
<b>5.1.3</b>	<b>DEFINIÇÕES DO PROGRAMA BASE.....</b>	<b>441</b>
5.1.3.1	Tipo funcional.....	441
5.1.3.2	Tipo espacial.....	442
5.1.3.3	Tipos simbólicos .....	442
<b>5.1.4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO PRÉVIO .....</b>	<b>442</b>
5.1.4.1	Solução funcional base .....	442
5.1.4.2	Tipos simbólicos - modelo compacto .....	445
5.1.4.3	Tipos simbólicos - modelo alternativo .....	446
<b>5.1.5</b>	<b>SOLUÇÃO ESCOLHIDA .....</b>	<b>447</b>
<b>5.2</b>	<b>PROJECTO COM RETICULADOS LEVES.....</b>	<b>449</b>
<b>5.2.1</b>	<b>CASO DE ESTUDO (RETICULADOS).....</b>	<b>449</b>
5.2.1.1	Sistema construtivo (Reticulados) .....	449
5.2.1.2	Componentes e elementos considerados (Reticulados).....	450
5.2.1.3	Grelha estrutural (Reticulados) .....	451
5.2.1.4	Pavimento térreo (Reticulados) .....	453
5.2.1.5	Definição das paredes exteriores (Reticulados) .....	454

5.2.1.6	Definição das paredes interiores (Reticulados) .....	455
5.2.1.7	Definição do pavimento elevado do piso superior (Reticulados) .....	456
5.2.1.8	Definição dos pavimentos em consola (Reticulados) .....	458
5.2.1.9	Reforços para aberturas em pavimentos (Reticulados) .....	459
5.2.1.10	Definição de paredes do piso superior (Reticulados) .....	459
5.2.1.11	Definição do tecto do piso superior (Reticulados) .....	460
5.2.1.12	Definição das dimensões verticais (Reticulados) .....	462
5.2.1.13	Definição da cobertura (Reticulados) .....	462
5.2.1.14	Revestimento estrutural das paredes exteriores (Reticulados) .....	463
5.2.1.15	Revestimento estrutural dos pavimentos (Reticulados) .....	464
5.2.1.16	Revestimento estrutural da cobertura (Reticulados) .....	465
5.2.1.17	Revestimentos interiores (Reticulados) .....	466
5.2.1.18	Envolvente (Reticulados) .....	466
<b>5.2.2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE RETICULADOS LEVES .....</b>	<b>468</b>
5.2.2.1	Adaptação do sistema de reticulados ao modelo formal .....	468
5.2.2.2	Limitações dimensionais da estrutura (reticulados) .....	469
5.2.2.3	Limitações do ponto de vista da durabilidade (reticulados) .....	469
5.2.2.4	Simplicidade/Complexidade do sistema (reticulados) .....	469
<b>5.3</b>	<b>PROJECTO COM PORTICADOS .....</b>	<b>472</b>
<b>5.3.1</b>	<b>CASO DE ESTUDO (PORTICADOS) .....</b>	<b>472</b>
5.3.1.1	Sistema construtivo (Porticados) .....	472
5.3.1.2	Componentes e elementos considerados (Porticados) .....	473
5.3.1.3	Grelha estrutural (Porticados) .....	473
5.3.1.4	Pavimento térreo (Porticados) .....	476
5.3.1.5	Definição das paredes exteriores (Porticados) .....	477
5.3.1.6	Definição das paredes interiores (Porticados) .....	478
5.3.1.7	Definição do pavimento elevado do piso superior (Porticados) .....	479
5.3.1.8	Definição dos pavimentos em consola (Porticados) .....	481
5.3.1.9	Reforços para aberturas em pavimentos (Porticados) .....	482
5.3.1.10	Definição de paredes do piso superior .....	482
5.3.1.11	Definição do tecto do piso superior (Porticados) .....	483
5.3.1.12	Definição das dimensões verticais (Porticados) .....	483
5.3.1.13	Definição da cobertura (Porticados) .....	485
5.3.1.14	Revestimento estrutural das paredes exteriores (Porticados) .....	487
5.3.1.15	Revestimento estrutural dos pavimentos (Porticados) .....	487
5.3.1.16	Revestimento estrutural da cobertura (Porticados) .....	487
5.3.1.17	Revestimentos interiores (Porticados) .....	487
5.3.1.18	Envolvente (Porticados) .....	488
<b>5.3.2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE PORTICADOS .....</b>	<b>489</b>
5.3.2.1	Adaptação do sistema de porticados ao modelo formal .....	489
5.3.2.2	Limitações dimensionais da estrutura (Porticados) .....	490
5.3.2.3	Limitações do ponto de vista da durabilidade (Porticados) .....	490

5.3.2.4	Simplicidade/Complexidade do sistema (Porticados)	491
<b>5.4</b>	<b>PROJECTO COM PAREDES PESADAS DE TOROS</b>	<b>493</b>
<b>5.4.1</b>	<b>CASO DE ESTUDO (TOROS)</b>	<b>493</b>
5.4.1.1	Sistema construtivo (Toros)	493
5.4.1.2	Componentes e elementos considerados (Toros)	494
5.4.1.3	Grelha estrutural (Toros)	494
5.4.1.4	Pavimento térreo (Toros)	495
5.4.1.5	Definição das paredes exteriores (Toros)	497
5.4.1.6	Definição das paredes interiores (Toros)	498
5.4.1.7	Definição do pavimento elevado do piso superior (Toros)	499
5.4.1.8	Definição dos pavimentos em consola (Toros)	500
5.4.1.9	Reforços para aberturas em pavimentos e escadas (Toros)	501
5.4.1.10	Definição de paredes do piso superior (Toros)	501
5.4.1.11	Definição do tecto do piso superior (Toros)	501
5.4.1.12	Definição das dimensões verticais (Toros)	503
5.4.1.13	Definição da cobertura (Toros)	503
5.4.1.14	Revestimento estrutural dos pavimentos (Toros)	504
5.4.1.15	Revestimento estrutural da cobertura (Toros)	505
5.4.1.16	Revestimentos interiores (Toros)	505
5.4.1.17	Envolvente (Toros)	505
<b>5.4.2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE PAREDES PESADAS DE TOROS</b>	<b>506</b>
5.4.2.1	Adaptação do sistema de paredes de toros ao modelo formal	507
5.4.2.2	Limitações dimensionais da estrutura (Toros)	508
5.4.2.3	Limitações do ponto de vista da durabilidade (Toros)	508
5.4.2.4	Simplicidade/Complexidade do sistema (Toros)	508
<b>5.5</b>	<b>PROJECTO COM PAINÉIS PESADOS LAMELADOS COLADOS</b>	<b>511</b>
<b>5.5.1</b>	<b>CASO DE ESTUDO (PAINÉIS CLT)</b>	<b>511</b>
5.5.1.1	Sistema construtivo (Painéis CLT)	511
5.5.1.2	Componentes e elementos considerados (Painéis CLT)	512
5.5.1.3	Grelha estrutural (Painéis CLT)	512
5.5.1.4	Pavimento térreo (Painéis CLT)	513
5.5.1.5	Definição das paredes exteriores (Painéis CLT)	514
5.5.1.6	Definição das paredes interiores (Painéis CLT)	514
5.5.1.7	Definição do pavimento suspenso do piso superior (Painéis CLT)	515
5.5.1.8	Definição dos pavimentos em consola (Painéis CLT)	516
5.5.1.9	Definição de paredes do piso superior (Painéis CLT)	517
5.5.1.10	Definição do tecto do piso superior (Painéis CLT)	517
5.5.1.11	Definição das dimensões verticais (Painéis CLT)	517
5.5.1.12	Definição da cobertura (Painéis CLT)	519
5.5.1.13	Revestimentos estruturais (Painéis CLT)	519
5.5.1.14	Revestimentos interiores (Painéis CLT)	519
5.5.1.15	Envolvente (Painéis CLT)	520

<b>5.5.2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE PAINÉIS CLT .....</b>	<b>521</b>
5.5.2.1	Adaptação do sistema de painéis CLT ao modelo formal.....	522
5.5.2.2	Limitações dimensionais da estrutura (Painéis CLT) .....	522
5.5.2.3	Situações delicadas do ponto de vista da durabilidade (Painéis CLT).....	522
5.5.2.4	Simplicidade/Complexidade do sistema (Painéis CLT).....	522
<b>6</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO .....</b>	<b>525</b>
<b>6.1</b>	<b>PROCESSO DE PROJECTO .....</b>	<b>526</b>
<b>6.1.1</b>	<b>ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO .....</b>	<b>526</b>
6.1.1.1	A coordenação do projecto .....	526
6.1.1.2	Mais-valias do método .....	531
<b>6.1.2</b>	<b>PROGRAMA PRELIMINAR.....</b>	<b>533</b>
<b>6.1.3</b>	<b>PROGRAMA BASE .....</b>	<b>534</b>
6.1.3.1	Definição do tipo simbólico .....	538
6.1.3.2	Definição do tipo estrutural .....	540
6.1.3.3	Adequação do tipo estrutural ao tipo simbólico .....	541
6.1.3.4	Definição de critérios .....	544
<b>6.1.4</b>	<b>ESTUDO PRÉVIO .....</b>	<b>547</b>
<b>6.1.5</b>	<b>PROJECTO BASE.....</b>	<b>550</b>
<b>6.1.6</b>	<b>PROJECTO DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>551</b>
<b>6.1.7</b>	<b>SÍNTESE .....</b>	<b>552</b>
<b>6.2</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROGRAMA.....</b>	<b>554</b>
<b>6.2.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROGRAMA PRELIMINAR .....</b>	<b>555</b>
<b>6.2.2</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROGRAMA BASE.....</b>	<b>556</b>
6.2.2.1	Tipo funcional.....	556
6.2.2.2	Tipo espacial.....	557
6.2.2.3	Análise preliminar de custos .....	557
6.2.2.4	Tipo simbólico.....	559
6.2.2.5	Tipo estrutural.....	561
6.2.2.6	Opções estruturais .....	563
<b>6.3</b>	<b>DEFINIÇÃO DO ESTUDO PRÉVIO.....</b>	<b>570</b>
<b>6.3.1</b>	<b>PROCEDIMENTOS DE PROJECTO .....</b>	<b>570</b>
<b>6.3.2</b>	<b>ESTRATÉGIAS DE ECONOMIA .....</b>	<b>573</b>
<b>6.3.3</b>	<b>ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE .....</b>	<b>574</b>
<b>6.3.4</b>	<b>ESTRATÉGIAS DE INTEGRIDADE CONSTRUTIVA .....</b>	<b>580</b>
<b>6.3.5</b>	<b>AVALIAÇÕES.....</b>	<b>581</b>
<b>6.3.6</b>	<b>INSPECÇÃO PERIÓDICA .....</b>	<b>583</b>
<b>6.3.7</b>	<b>OUTRAS FASES .....</b>	<b>585</b>
<b>6.3.8</b>	<b>EXEMPLO DE DETALHES .....</b>	<b>586</b>
<b>6.4</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO AO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>592</b>
<b>6.4.1</b>	<b>PROGRAMA .....</b>	<b>592</b>
6.4.1.1	Avaliação preliminar do tipo estrutural .....	594

<b>6.4.2 ESTUDO PRÉVIO .....</b>	<b>598</b>
6.4.2.1 Avaliação da solução arquitectónica .....	598
<b>6.4.3 CENÁRIOS .....</b>	<b>602</b>
6.4.3.1 Cenário Arquitectura.....	602
6.4.3.2 Cenário durabilidade .....	603
6.4.3.3 Cenário preço .....	603
6.4.3.4 Cenário ambiente .....	605
6.4.3.5 Análise dos cenários .....	605
<b>6.4.4 REVISÃO DO CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>606</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>609</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>613</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>627</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>636</b>
<b>ÍNDICE DE FLUXOGRAMAS .....</b>	<b>637</b>





## INTRODUÇÃO

A madeira é um material de construção com elevado potencial arquitectónico, sendo especialmente vocacionado para o projecto de habitações unifamiliares. O seu desempenho ambiental e estético permitem integrá-la em estratégias de projecto ambientalmente responsáveis e associá-la a conceitos formais inovadores. Porém, em Portugal a construção em madeira é ainda um tema pouco explorado numa perspectiva arquitectónica, reflectindo-se este défice num panorama em que as estruturas de madeira são ainda residuais.

O tema da tese foi escolhido por se considerar relevante fomentar o uso da madeira em Portugal através do seu melhor conhecimento. Pretende-se contribuir para a sua utilização, mais frequente e mais qualificada, enquanto material estrutural, através da proposta de uma metodologia de apoio ao projecto de Arquitectura. Esta metodologia deverá poder ser utilizada pelos Arquitectos portugueses, proporcionando uma ampliação das suas opções e oportunidades, quando confrontados com projectos de habitações unifamiliares.

Assim, os objectivos da tese são:

1. *Definir, clarificar e organizar conceitos referentes à construção em madeira e à sua relação com a Arquitectura e com o mercado da construção em Portugal.*
2. *Identificar os requisitos de projecto dos sistemas de construção de casas de madeira, numa perspectiva arquitectónica.*
3. *Propor um método de projecto de Arquitectura para a construção de casas de madeira em Portugal.*

A metodologia utilizada implicou o desenvolvimento das seguintes actividades:

1. *Revisão da literatura relevante sobre: a) os conteúdos da História e da Teoria da Arquitectura; b) as metodologias de projecto de Arquitectura; e c) os principais sistemas construtivos. Consultaram-se fontes de vários tipos: artigos académicos e científicos, teses de mestrado e doutoramento, manuais técnicos, manuais de História e Teoria da Arquitectura e informação técnica de marcas e produtos comerciais, bem como de instituições e associações que promovem a madeira através do seu estudo e da difusão de informação. As bibliotecas consultadas foram numa primeira fase as nacionais, com especial relevo para as do Instituto Superior Técnico e da Faculdade de Arquitectura, sendo posteriormente utilizadas as fontes internacionais disponibilizadas na Internet. Recorreu-se também à informação recolhida em vários Congressos e acções de formação que ocorreram a nível nacional, bem como à informação produzida pelas empresas portuguesas e internacionais. Numa última fase utilizaram-se os recursos e fontes da Biblioteca da Faculdade de Arquitectura da Universidade de Manitoba, bem como da Biblioteca Geral da Universidade de Winnipeg no Canadá.*
2. *Realização de trabalho de campo que envolveu: a) inquéritos e entrevistas para identificar os principais problemas associados ao mercado das casas de madeira e ao projecto de Arquitectura em Portugal; b) visitas a empresas de casas de madeira e obras de Arquitectura com estrutura de madeira.*
3. *Definição de um caso de estudo simulando um estudo prévio de Arquitectura com integração dos principais sistemas construtivos em madeira.*

As informações e conclusões obtidas nas revisões efectuadas, no trabalho de campo e no caso de estudo foram utilizadas para elaborar a proposta de método de projecto.

A proposta de uma metodologia de projecto de Arquitectura, constitui o objectivo principal da tese e visa apoiar os Arquitectos portugueses na concepção de projectos de habitações unifamiliares com estruturas de madeira. Para além de pretender contribuir para uma maior qualidade dos projectos, a proposta procura estimular a construção em madeira no território nacional, justificando-se este objectivo principalmente pelos seguintes motivos: 1) A madeira é um produto com um desempenho estético e ambiental excepcional; 2) Portugal é um país com um sector florestal importante; e 3) O uso da madeira na construção está associado a processos de construção eficientes.

A excepcionalidade da madeira como material é uma evidência demonstrada pelo processo de crescimento de uma árvore. De todos os materiais estruturais, é aquele cuja utilização como material construtivo mais factores benéficos pode desencadear a nível local e global. A sua utilização na construção conduz por um lado à valorização económica das florestas, suscitando a sua qualificação e a sua sustentabilidade, e por outro lado comporta vantagens ambientais quando utilizada em substituição de outros materiais. Sendo o sequestro e o armazenamento do Carbono um dos aspectos mais importantes a considerar como argumento de utilização da madeira, outros factores podem ser considerados para que se defenda que a madeira é uma opção a ter em conta. Em primeiro lugar, a madeira surge normalmente associada a processos otimizados, do ponto de vista do fabrico dos produtos, do projecto e da construção. Em segundo lugar, a madeira na Arquitectura Portuguesa apresenta-se ainda com um carácter inovador, podendo incentivar novas abordagens, em termos de design e proporcionar eventualmente uma renovação do panorama arquitectónico.

Não se deve porém negar que a utilização da madeira pode suscitar dúvidas acrescidas em relação a outros materiais, por não haver no contexto nacional uma tradição de construção em madeira semelhante à de outros países, em que a sua utilização é um dado adquirido pela tradição. Este facto poderá ser um indicador de que as condições locais não foram até aqui as mais favoráveis a um bom desempenho do material.

A inovação nos produtos de madeira, devido à investigação científica, às necessidades do mercado e à experimentação arquitectónica, poderá oferecer argumentos para dissipar alguns dos tradicionais receios que têm travado a sua utilização. Por um lado, hoje a produção e utilização da madeira estão sujeitas a normas e regulamentos cada vez mais exigentes que visam assegurar a segurança e a qualidade no seu uso. Por outro lado, a “madeira” já não deve ser considerada apenas “um material”, mas sim um universo de produtos novos (lamelados, painéis de derivados, compósitos, madeira modificada, etc.) preparados para responder às exigências que anteriormente eram mais problemáticas (principalmente as de durabilidade). Assim, tal como o betão armado foi introduzido na construção com êxito há cerca de 100 anos, também a reintrodução da madeira poderá ter sucesso hoje, mesmo em países, como Portugal, onde a tradição da construção com estruturas integrais de madeira não produziu um lastro significativo de experiência, de conhecimento e de confiança.

O potencial da floresta nacional e a possibilidade de vir a fornecer produtos para estruturas e revestimentos de madeira é um argumento relevante para o uso da madeira até porque a utilização de recursos locais é muito valorizada nos critérios de escolha de soluções construtivas sustentáveis. A sustentabilidade do uso da madeira na construção de habitações unifamiliares tem sido objecto de estudos que concluem que há vantagens na sua utilização. Argumenta-se normalmente que a substituição de materiais de construção por componentes de madeira comportaria uma redução nas emissões de Carbono, o que segundo a análise de

várias fontes, corresponderia em média à redução de 2,1 toneladas por cada tonelada de Carbono dos produtos de madeira usados na substituição. Embora reconhecendo-se que os resultados sobre este tema possam não ser coincidentes e até mesmo controversos, outros argumentos importantes a considerar são o naturalmente elevado nível de pré fabricação e a eficácia no tempo de construção associados às estruturas de madeira. No Canadá por exemplo, em média, uma casa de madeira é construída em cerca de 16 semanas, sendo a respectiva estrutura montada em duas semanas. Em Portugal, segundo o INE, a duração da construção de uma moradia correspondia em 2012 a 25 meses, enquanto o tempo médio de construção das casas de madeira era, segundo os fabricantes, inferior a seis meses.

Em Portugal, bem como noutros países, a eficácia do betão armado conduziu a um panorama em que as estruturas de madeira foram relegadas para um plano muito secundário. Só recentemente (a partir de finais do século passado) o cenário começou a alterar-se com a concepção de equipamentos públicos incorporando estruturas de madeira (nomeadamente em grandes naves) e com o aparecimento de empresas de construção de casas de madeira que preencheram um nicho de mercado. O processo de projecto das casas de madeira era inicialmente dominado por estas empresas, com uma intervenção muito marginal dos Arquitectos. Os Arquitectos durante muito tempo também não equacionaram as estruturas de madeira como uma solução a integrar nos seus projectos. Assistiu-se numa segunda fase a uma alteração do panorama anterior, evidenciada por três factores: 1) O envolvimento de Arquitectos nas empresas de casas de madeira como técnicos ou mesmo como gestores; 2) a emergência de alguns Arquitectos que se especializaram ou que adquiriram uma grande experiência no projecto e construção de estruturas de madeira; e 3) um volume considerável de propostas académicas e comerciais de projectos de casas de madeira modulares, associadas geralmente a critérios de projecto com preocupações ambientais.

Acresce ao contexto acima descrito o facto de as moradias serem um dos projectos mais importantes na actividade de gabinete dos Arquitectos, sendo este precisamente o sector da construção onde a madeira encontra potencialmente a sua aplicação mais adequada como estrutura integral. Assim, uma vez que os Arquitectos são os únicos profissionais habilitados para projectar casas (Lei n.º 31/2009), estarão bem posicionados para informarem os seus clientes sobre a possibilidade de construir com madeira. Acrescente-se que as moradias são em Portugal o tipo de edifício mais significativo do parque habitacional: em 2013 foram licenciadas 4.878 moradias contra 350 edifícios de apartamentos.

Do ponto de vista da Arquitectura, o método corrente de projecto em Portugal não será o mais adequado para a realidade das casas de madeira e dos processos envolvidos na sua construção. O Arquitecto tradicionalmente não é obrigado a estabelecer, durante o projecto, uma relação próxima com as empresas que fabricam os materiais de construção porque os processos correntes são conhecidos e não exigem esse diálogo.

O Arquitecto Português tem sido formado segundo um modelo em que a qualificação artística é muito valorizada, “produzindo-se” Arquitectos que são reconhecidos internacionalmente pelas competências demonstradas nessa área. Porém, no ensino têm sido descuradas as competências técnicas e empresariais da Arquitectura. Muitos Arquitectos e pequenas empresas de Arquitectura parecem não identificar a Arquitectura como uma actividade comercial que oferece serviços, parecendo reconhecê-la mais como uma actividade que produz uma “marca”. Num inquérito promovido pela Ordem dos Arquitectos 77,4% dos Arquitectos afirmaram não ter tido lucro entre 2009 e 2012. Perante estas condições, justifica-se a proposta de um método de apoio ao projecto de Arquitectura em geral e de casas de

madeira em particular numa perspectiva assumidamente mais técnica e comercial (direccionada para a satisfação do cliente) do que artística.

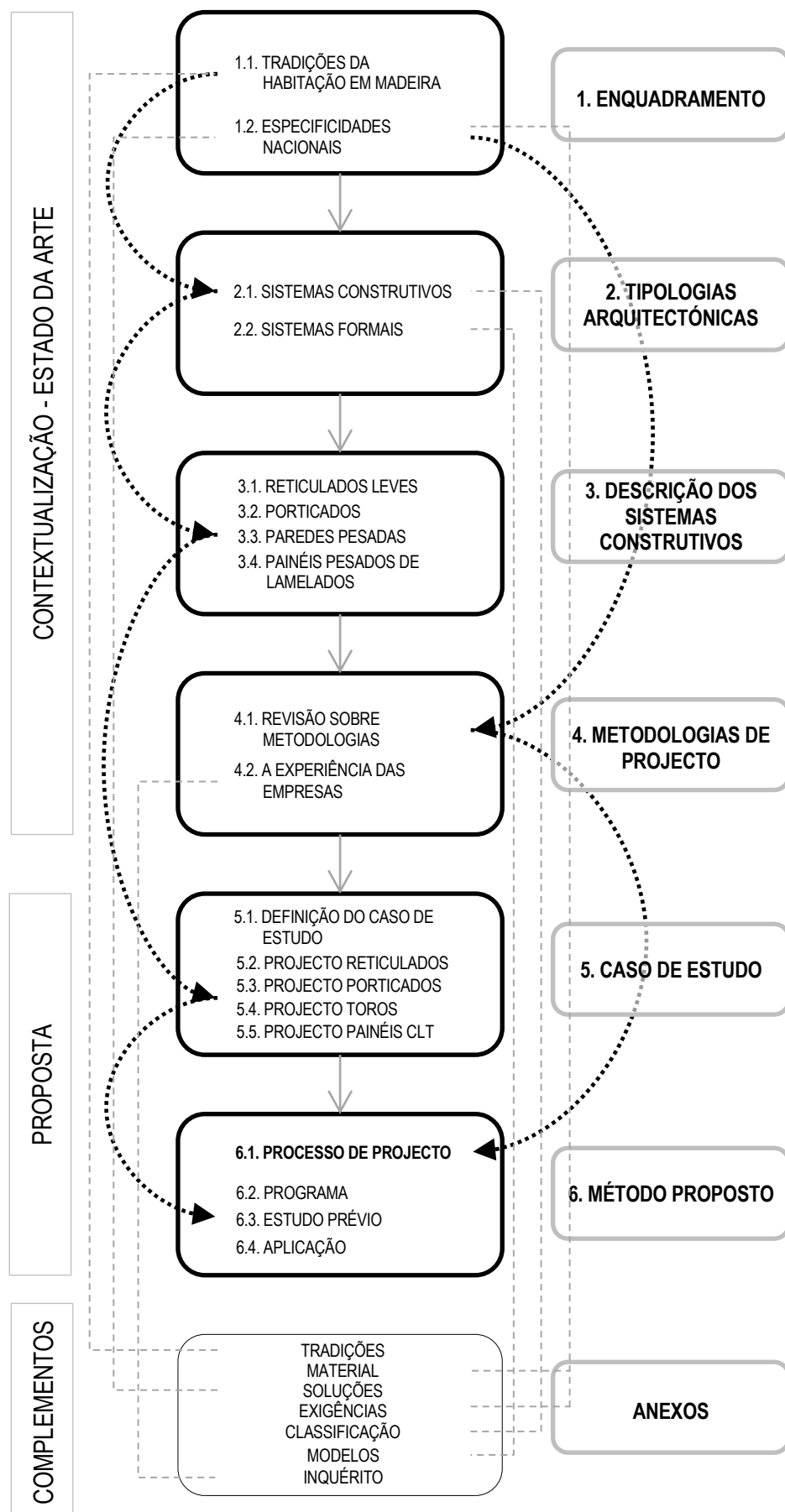
A literatura disponível sobre o tema da construção em madeira e da metodologia de projecto não adopta normalmente a perspectiva integrada que foi considerada nesta tese. No caso da construção em madeira, para além da vasta quantidade de informação que existe a nível internacional, em Portugal várias teses de mestrado e uma tese de doutoramento em especial, focaram o tema numa perspectiva arquitectónica mas com diferentes focos: a comparação de sistemas, o desenvolvimento de soluções, e a proposta de um manual prescritivo. Na área da metodologia de projecto, para além dos trabalhos nacionais na área da avaliação, da qualidade, e dos processos generativos, não surgem trabalhos que questionem especificamente o processo tradicional de projecto de Arquitectura. A originalidade do tema da tese residirá em parte na singularidade do próprio objecto que integra num todo diversas singularidades: a metodologia, o projecto de Arquitectura, a construção em madeira e a habitação unifamiliar. Tentou-se ainda abordar os aspectos da História da construção em madeira aplicada à habitação unifamiliar de uma forma mais estruturada, do que aquela que surge habitualmente nas teses académicas.

Para a elaboração desta tese, o autor contou com várias contribuições que se revelaram decisivas. A assistência a congressos e acções de formação em Portugal permitiram tomar contacto com a produção académica na área da construção em madeira. De grande importância na introdução à problemática da tese foi a elaboração do estudo “Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal” no contexto do LNEC. Os contactos efectuados com empresários, quadros técnicos e comerciais de empresas do sector da construção em madeira, no âmbito de inquéritos e entrevistas realizados, pessoal e telefonicamente, e visitas a obras e fábricas, forneceram uma base de informação com a qual foi possível levantar os principais problemas da tese. A oportunidade de trabalhar num atelier de Arquitectura canadiano, permitiu observar a abordagem ao projecto num contexto onde a presença da madeira é uma constante. Também no Canadá o trabalho de voluntariado numa obra de construção em madeira da organização Habitat for Humanity facultou ao autor o convívio directo com a construção em madeira na perspectiva do ofício e permitiu esclarecer muitas das dúvidas que a informação teórica sempre suscita.

A participação em Congressos com artigos que beneficiaram da co-autoria dos orientadores, obrigou a operações intermédias de síntese que colocaram à prova a evolução das ideias expressas na tese, abrindo-as à discussão e suscitando diversos processos de revisão. Desde o início do doutoramento foram elaborados cinco artigos referentes aos aspectos: da História da Arquitectura em madeira, do mercado e das empresas de construção em madeira portuguesas, e da própria metodologia de apoio ao projecto que aqui se propõe.

A tese está dividida em seis capítulos: enquadramento, tipologias arquitectónicas, descrição dos sistemas construtivos, metodologias de projecto, caso de estudo e método proposto. Os quatro primeiros capítulos produziram a informação que contextualizou o tema e forneceu os conceitos e as sínteses necessárias à definição da proposta. No Fluxograma 1, na página seguinte, indicam-se, com linhas tracejadas curvas, a sequência lógica da progressão do trabalho, evidenciando os temas da tecnologia à esquerda e da metodologia à direita. Nos dois últimos capítulos desenvolveu-se a proposta propriamente dita através da elaboração dos casos de estudo e da definição da metodologia de projecto. Os anexos apresentam informações complementares aos capítulos assinalados no Fluxograma 1 através de linhas tracejadas rectas de cor cinza .

Fluxograma 1 - Diagrama conceptual da tese.





## 1 ENQUADRAMENTO

O enquadramento ao tema da construção em madeira com foco na habitação é realizado aqui através de uma abordagem geral à História e Teoria da Arquitectura (capítulo 1.1.) e de uma abordagem particular ao contexto nacional (capítulo 1.2.).

A abordagem histórica é enquadrada por uma perspectiva arquitectónica e centra-se no papel da construção em madeira na Arquitectura da habitação. Para que este não permanecesse reduzido a um capítulo descritivo, sem novas contribuições, procurou-se obter uma síntese e organizar o conhecimento através de uma grelha de conceitos que classifica os princípios construtivos utilizados ao longo do tempo. Assim, começa-se por questionar o papel da construção em madeira no pensamento arquitectónico. Descrevem-se depois os principais princípios construtivos realçando as suas características com um enfoque em exemplos considerados paradigmáticos. Segue-se uma discussão das condicionantes dos principais sistemas onde se pretende explicar e justificar as opções pela construção em madeira em geral e por cada um dos sistemas em particular.

Elabora-se a seguir uma abordagem à ambivalência das perspectivas do projecto de Arquitectura de habitação em madeira (a erudita e a comercial), comparando o contexto da habitação em madeira na História da Arquitectura Moderna com o contexto Norte-Americano da habitação corrente em madeira. Expõe-se por um lado a atitude erudita, a dos Arquitectos, remetida para um conceito de qualidade mais amplo e por outro lado uma abordagem popular associada a uma ideia mais pragmática de construção e de “estilo”.

Em resumo, pretende-se responder às perguntas: “porque é que um determinado tipo estrutural surge num contexto e não noutro?” e “como se manifestaram historicamente as diferenças entre as casas de madeira da Arquitectura erudita e as casas de madeira da Arquitectura sem Arquitectos?”.

Depois do enquadramento histórico, abordam-se as especificidades nacionais que são expressas através dos aspectos culturais, da floresta, das principais disposições regulamentares que afectam a habitação unifamiliar, do clima e do mercado das casas de madeira. Pretende-se identificar nessas especificidades os aspectos que limitam, enquadram e potenciam a construção de madeira em Portugal. Para uma mais efectiva elaboração deste enquadramento foram visitados vários locais onde ainda é possível reconhecer os principais vestígios das construções integrais em madeira. Para o conhecimento do mercado nacional das casas de madeira foi realizado em 2011 um primeiro estudo no LNEC, que exigiu várias viagens, inquéritos, entrevistas, visitas e contactos directos com muitos responsáveis pelas casas de madeira que hoje se produzem em Portugal.

Não foi realizado um capítulo específico de enquadramento internacional porque este foi sendo feito naturalmente à medida que se avançou nos conteúdos, nomeadamente quando se abordaram os temas das tipologias arquitectónicas (capítulo 2), dos sistemas construtivos (capítulo 3), e da metodologia de projecto (capítulo 4).

As sínteses efectuadas neste capítulo permitiram definir conceitos referentes aos sistemas construtivos que foram desenvolvidos e estabilizados no capítulo seguinte (capítulo 2). A abordagem ao mercado da construção em madeira através do primeiro estudo sobre as casas de madeira, em 2011, forneceu a base de conhecimento para efectuar os contactos e as entrevistas que se seguiram depois, em 2013 e em 2015, num âmbito já mais focado na metodologia de projecto de Arquitectura (no capítulo 4).

## 1.1 TRADIÇÕES DA HABITAÇÃO EM MADEIRA

A História da Arquitectura, na perspectiva dos Arquitectos, estabelece as bases culturais que informam a concepção das construções habitadas e utilizadas pelo Homem. O conhecimento do passado permite identificar as origens e compreender os desenvolvimentos das formas e das estruturas construídas, suscitando a sua valorização e motivando o seu aperfeiçoamento.

Em *“The story of Architecture”*, o autor (Nuttgens, 1993), sugeriu que quando um Arquitecto se confronta com um edifício, a pergunta relevante a fazer deveria ser a seguinte: *“porque é que este edifício é como é?”*. A aparente simplicidade da questão torna-se mais complexa quando ela própria deriva em muitas outras. Por exemplo: *“quais foram as condicionantes locais, os requisitos ambientais, culturais, funcionais, técnicos e económicos que conduziram a esta singular forma arquitectónica?”*. As respostas que vão sendo dadas pela investigação da História e da Teoria da Arquitectura não são apenas importantes numa perspectiva académica. Para o Arquitecto prático, o conhecimento do passado assume o papel de uma base de conhecimento que lhe permite inverter o processo e perguntar: *“como é que este edifício vai ser?”*, *“O que interessa retomar das experiências do passado?”*, *“O que deve ser melhorado?”*.

Ao Arquitecto que pretenda compreender a construção em madeira, importará obter um panorama da génese das estruturas de madeira, identificando os princípios construtivos, as suas origens e as suas condicionantes. O conhecimento histórico permitirá conhecer as soluções que os antecessores encontraram para responder aos problemas que enfrentaram e fomentará uma maior tomada de consciência da razão de ser das principais tradições regionais. Assim, é objectivo deste capítulo descrever e explicar o cenário histórico e cultural dos principais sistemas de construção para a habitação em madeira. A perspectiva adoptada debruça-se principalmente sobre as constantes, os conceitos, as tipologias e a sua evolução, mais do que na descrição dos factos específicos. Esta abordagem justifica-se porque se pretende conferir um sentido aos temas que surgem já estudados mas que se encontram dispersos pelas mais variadas fontes.

O objectivo metodológico no âmbito global do presente trabalho consiste em organizar e definir conceitos que serão utilizados nos restantes capítulos. A apresentação da História da construção em madeira centrada na habitação será aqui efectuada com base numa selecção da vasta bibliografia sobre o tema, propondo-se no entanto um enquadramento original motivado pela necessidade de clarificar os seguintes temas: O papel histórico da madeira na perspectiva da Teoria da Arquitectura; os princípios construtivos presentes ao longo da História da construção em madeira; os condicionantes da forma e da escolha das estruturas de madeira para habitação; as grandes tradições da construção em madeira na habitação até ao século XIX; e a casa de madeira do Homem comum e a casa de madeira na Arquitectura Moderna.

Os autores do livro *“Architettura Legno”*, denunciavam em 1988 a falta de documentação sobre a construção em madeira na cultura Italiana. Consideravam que apesar de várias publicações sobre problemas parciais faltava uma visão completa que abordasse transversalmente os diferentes períodos e tecnologias e apresentasse o “o quê” e o “quando” da construção em madeira e o “como” e o “porquê” do seu potencial de realização (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 8). Passados vários anos, esta lacuna é a que parece corresponder hoje à situação Portuguesa quanto à perspectiva arquitectónica da “construção em madeira” e em especial da “Arquitectura das casas de madeira”.



### 1.1.1 TEORIA E PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

2

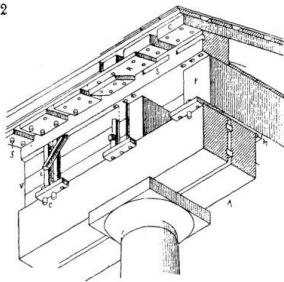


Fig. 1 - Transferência formal da madeira para a pedra no templo grego na interpretação de Choisy (Choisy, 1899).

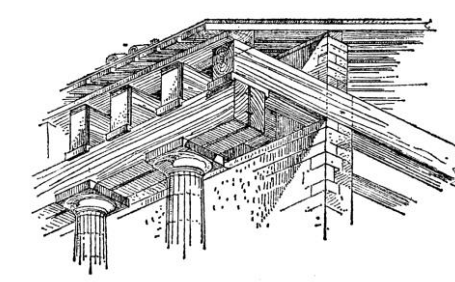
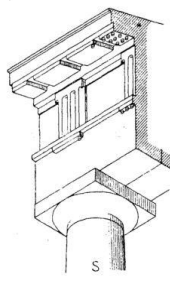


Fig. 2 - Hipótese de configuração dos componentes templos gregos primitivos segundo Durm (Hansen, 1971).

#### 1.1.1.1 TEORIA DA ARQUITECTURA

O tratado primordial da cultura arquitectónica ocidental, o *De Architectura* de Vitruvius (Vitruvius, 2006, p. 72), associou a madeira à origem da Arquitectura numa argumentação que será retomada em sucessivos textos teóricos. Vários autores, de Laugier a Le Corbusier, recorreram à descrição de uma construção de madeira - supostamente o primeiro abrigo elaborado pelo Homem - como parte de um argumento racional para legitimar um determinado modo de entender a Arquitectura. O carácter primitivo da madeira tem sido desde então um dos dados do problema do "pensar a Arquitectura". Igualmente importante para consolidar essa perspectiva foi o argumento da transferência de características formais da construção em madeira para a construção em pedra. Com origem também em Vitruvius (2006, p. 146), esta noção é retomada no século XIX por Gottfried Semper (Frampton, 1996, pp. 5, 6) e por Choisy (Frampton, 1997, p. 19) que defenderam a tese segundo a qual o templo Grego em pedra tinha sido concebido como uma reinterpretação do templo original de madeira (cf. figuras 1 e 2). O seu valor como material de construção e o seu valor simbólico na História da Arquitectura são assim realçados, mas a madeira fica definitivamente remetida para uma etapa muito inicial e ultrapassada do longo processo de evolução das tecnologias da construção (cf. figuras 3 e 4).

A durabilidade celebrada pelo tratado de Vitruvius, como uma das qualidades a que aspira a Arquitectura, terá sido um dos factores que mais terá contribuído para a consolidar a visão da madeira como um material pouco adequado às formas arquitectónicas mais ambiciosas. A ideia generalizada sobre "o que é a Arquitectura", ou sobre "as qualidades da boa Arquitectura" está articulada com atributos de permanência que não são normalmente associados à madeira<sup>1</sup> na cultura ocidental. Na verdade, se exposta a condições adversas e sem boas práticas construtivas, facilmente a madeira se degrada, perdendo a sua integridade.

A par da durabilidade, o conceito de evolução é um dos valores fundamentais da Arquitectura quando percebida como disciplina que acompanha as transformações sociais e que por vezes as pretende antecipar. Este entendimento da Arquitectura é aquele que vai ser adoptado pelos Arquitectos modernos do princípio do século XX cujas facções mais radicais, ao mesmo tempo que proscreviam a tradição, defendiam o que entendiam ser a "construção pura". Hannes Meyer rejeitava que a Arquitectura fosse um processo de continuidade lenta das tradições do construir. Assim, no âmbito da sua actividade académica na Bauhaus considerava que o estudo das técnicas tradicionais poderia conduzir "perigosamente" ao desenvolvimento de formas estagnadas pela tradição. Estaria provavelmente a pensar no

<sup>1</sup> No século XVII, por exemplo, o palácio de Salzdahlum (Alemanha, 1691) foi construído com uma estrutura de madeira, mas tendo sido baseado em desenhos e modelos Franceses e Italianos foi integralmente revestido a pedra (Hansen, 1971, p. 154).

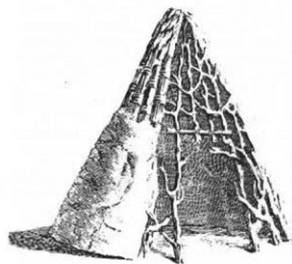


Fig. 3 - Cabana primitiva. Sistema de componentes reticulados leves - William Chambers (Rykwert, 1993).

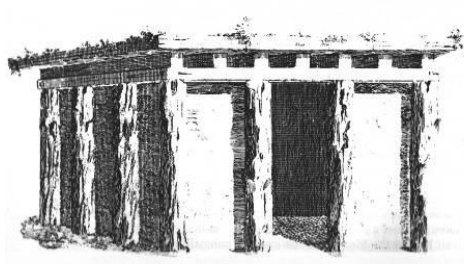


Fig. 4 - Cabana primitiva. Sistema de porticados pesados antecipando o templo grego - William Chambers (Rykwert, 1993).

caso da madeira cujas exigências de durabilidade conduzem com frequência a soluções pouco abstractas, com coberturas inclinadas, beirados, remates e molduras. Estaria também a opor-se por antecipação à ideologia da Alemanha Nacional Socialista que a partir de 1933 vai acolher o modelo de urbanização das "colónias rurais", fazendo uso das formas rústicas de habitação e da construção em madeira (Benévolo, 1996, pp. 541, 585).

Mas o ideal de uma perspectiva verdadeira e inocente sobre a construção continuava a ser muito apelativo para alguns dos herdeiros do movimento Arts and Crafts. Segundo Ford (1997, p. 125), Arquitectos como Walter Gropius, Le Corbusier e Marcel Breuer, vão associar a Arquitectura vernácula precisamente a uma "expressão pura da construção". Não seria por acaso que o antigo verbo Inglês para construir era *timbran*, reportando-se assim ao material mais utilizado nas edificações correntes (Turan, 2009). Le Corbusier escolheu a cabana primitiva de madeira para sublinhar as suas qualidades de economia e pureza (Ford, 1996, p. 20) e Frank Lloyd Wright quando acolheu e difundiu o princípio da necessária adequação entre a forma e a natureza dos materiais, estava a referir-se implicitamente à Arquitectura tradicional japonesa em madeira (Ford, 1997, p. 127). Mas apesar do apelo conceptual da madeira para o estabelecimento dos princípios teóricos de vários Arquitectos, o que se regista é o seu desaparecimento no discurso propositivo da Arquitectura Moderna.

A atitude de exclusão da madeira na Arquitectura Moderna é representativamente ilustrada pelo conteúdo e estrutura do livro de F.R.S. Yorke (Welsh, 1996, p. 17), *The modern house in England*, publicado em 1937 com o intuito de descrever o estado da arte da edificação no país. Nele as obras expostas são organizadas segundo os respectivos materiais de construção: o betão, o aço e o tijolo. Observa-se que o critério de catalogação é aqui um reflexo da produção moderna da fase inicial onde pontificam não só os novos materiais, mas também o "tradicional" tijolo, como que a sublinhar a importância da ideia de solidez e durabilidade. Ou seja, a madeira tinha um lugar reconhecido e digno na História da Arquitectura, mas as suas características e a sua associação às formas do passado não lhe reservavam um lugar nas propostas da Arquitectura Moderna. Uma matéria primitiva, perecível e natural não poderia em definitivo ser acolhida sem reservas por aqueles que perseguiam o "espírito do tempo", a modernidade, a industrialização, a eficácia e a consequente durabilidade e solidez da nova Arquitectura.

#### 1.1.1.2 MADEIRA - FRAGILIDADE E POTENCIAL

As características naturais da madeira conferem-lhe propriedades óptimas para a construção. Como refere Raeburn (1986, pp. 18, 19) a elasticidade, a relação entre o peso e a resistência e o bom comportamento estrutural concorrem para a sua adequação às funções de pilar, viga e asna. Terá sido então um dos materiais que pela sua disponibilidade e baixo custo mais foi utilizado na Arquitectura corrente do período pré-industrial. Mas como material orgânico que

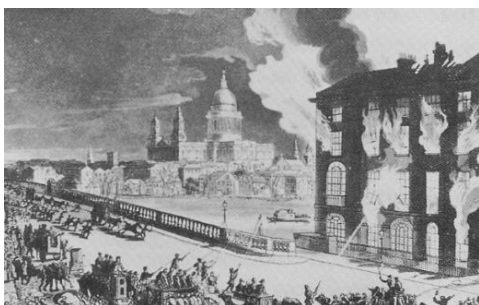


Fig. 5 - Incêndio na "Albion Flour Mill" em 1791 (Addis, 2007).

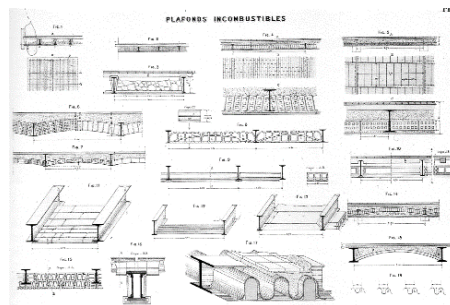


Fig. 6 - Sistemas contra incêndio, 1890 (Addis, 2007).

é, as suas limitações foram também sempre evidentes: a durabilidade e a combustibilidade conferem, por oposição, à pedra e ao tijolo o estatuto de alternativas consideradas vantajosas.

Já na segunda metade do século XVIII a necessidade de substituir a madeira era reclamada por muitos Arquitectos que sugeriam para os edifícios públicos o emprego de materiais não combustíveis como o ferro (Addis, 2007, p. 254). No caso das tradicionais instalações industriais com estruturas de madeira a sua vulnerabilidade tornou-se evidente devido a vários acidentes que foram ocorrendo. Depois do incêndio que em 1791 destruiu a fábrica de Albion em Londres (cf. figura 5) a companhia de seguros responsável passou a impor taxas restritivas para todas as construções similares de madeira (Strike, 2004, p. 31). Este terá sido um pretexto para a generalização do uso de ferro forjado associado a materiais cerâmicos (cf. figura 6) como sistema anti-incêndio (Addis, 2007, pp. 265, 266).

Em vários edifícios, substituíram-se as estruturas originais de madeira por aço ou ferro, como ocorreu na Halle au Blé (mercado do trigo de Paris) em 1811 (cf. figura 8) ou na catedral de Chartres em 1837 (cf. figura 7). O estigma do incêndio vai então promover a utilização das estruturas metálicas, numa tendência que é sustentada pelo grande desenvolvimento da indústria siderúrgica, primeiro em Inglaterra e depois em França (Benévolo, 1996, p. 35).

Para Addis (2007, p. 309), outro dos problemas colocados às estruturas de madeira residia na sua heterogeneidade. Assim a concepção das estruturas de madeira resultava em grande parte da experiência acumulada e de regras empíricas, ao contrário das estruturas metálicas em que o cálculo poderia ser aplicado com mais rigor, permitindo incluir no projecto o princípio da economia do material, tão caro à Engenharia.

Mas observando a evolução histórica da habitação em madeira pode-se constatar o seu grande potencial de desenvolvimento. Por exemplo as cabanas de troncos serão uma das tipologias construtivas mais antigas que evoluiu a partir das estruturas mais básicas (cf. figura 15): uma solução que terá surgido nas regiões de florestas frondosas e de baixas temperaturas, nomeadamente na Escandinávia, na Rússia, na Europa Oriental e Central, no Mar Negro, no Tibete e no Japão (Vicens & Bahamón, 2008, p. 19) e que foi adoptada com muito entusiasmo pelos colonos do "Novo Mundo". Embora fosse um sistema com vantagens (simplicidade, longevidade, resistência ao fogo e robustez) apresentava diversas debilidades. A propensão para fendilhar, o desperdício de material durante o fabrico e a dificuldade de manipulação dos elementos (Kaila, 1998, p. 32), conduziram necessariamente ao desenvolvimento de processos alternativos e inovadores, primeiro apurando os componentes e os métodos (esquadriando os toros e ensaiando novas formas de ligação nos cantos) e depois substituindo o sistema por outros mais vantajosos como os porticados e os reticulados pesados e mais tarde os reticulados leves.



Fig. 7 - Catedral de Chartres, Chartres (1194-1260) - Estrutura da cobertura em ferro forjado executada em 1837 (Addis, 2007).



Fig. 8 - Halle au Blé, Paris (1808-13) - Fotografia obtida durante os trabalhos de reconstrução da cúpula (Addis, 2007).

Em resposta às necessidades das várias colónias Inglesas na América desenvolvem-se soluções de habitação práticas, leves, desmontáveis e transportáveis. Factores como a abundância de matéria-prima e a escassez de mão-de-obra, vão promover na América do Norte uma cultura de inovação. No seguimento do fabrico industrial de pregos e da generalização das serrações mecânicas desenvolve-se então, por volta de 1833, o sistema *balloon-frame* que demonstrou ser uma solução económica, rápida e com elevada apetência para a pré-fabricação. Para além da simplicidade, as suas características consistiam na redundância estrutural e na flexibilidade arquitectónica. Seria então um sistema aberto a reinterpretações como as que farão, com espírito empreendedor, Arquitectos modernos como Frank Lloyd Wright, Rudolf Schindler, Marcel Breuer e Richard Neutra.

O novo sistema construtivo (*balloon-frame*) continuaria a evoluir, mas apesar do seu sucesso não terá respondido a todas as necessidades de uma sociedade em rápida transformação. Quando Chicago é destruída pelo incêndio de 1871 irá recorrer-se na sua reconstrução às estruturas em aço que permitem com grande eficácia aumentar a altura e os vãos dos edifícios. A pedra, o tijolo e a madeira não se mostravam tão adequadas para as soluções que estavam a ser ensaiadas, sendo mais vocacionados para os complementos da envolvente e dos revestimentos.

A construção estrutural em madeira acaba por ficar relegada para estruturas domésticas, sendo precisamente a casa suburbana típica dos EUA a que melhor interiorizou o pragmatismo do *balloon-frame* ou do seu sucedâneo, o *platform-frame* que, como refere Ford (1997, p. 291), irá demonstrar ter uma grande qualidade: a flexibilidade estilística. Na opinião de Giedion (2008, p. 363) uma tecnologia de construção, se não é determinante da forma arquitectónica, pelo menos pode condicioná-la ou potenciá-la. Este autor defendeu em "Space, Time and Architecture" que as qualidades do *balloon-frame* estavam directamente relacionadas com a tradição americana da planta flexível. Autores mais recentes (Kucker, 2002, pp. 171, 172) vão mais longe ao considerar que a construção em madeira nos EUA foi a responsável por oferecer o enquadramento para a redefinição da nova Arquitectura doméstica levada a cabo por Arquitectos como Frank Lloyd Wright e Rudolf Schindler.

#### 1.1.1.3 AÇO E BETÃO - EFICIÊNCIA E EXPRESSÃO

Apesar das pistas deixadas por Giedion em relação à importância da madeira, as suas fragilidades como material estrutural foram na realidade sendo inequivocamente realçadas pelas qualidades dos materiais emergentes. Para além do já referido problema da sua combustibilidade, as suas limitações arquitectónicas impulsionaram a mudança. Giedion (2008, p. 184) refere que uma das vantagens efectivas do ferro sobre a madeira consistiria na sua resistência, possibilitando a obtenção de grandes vãos, com um mínimo de obstrução

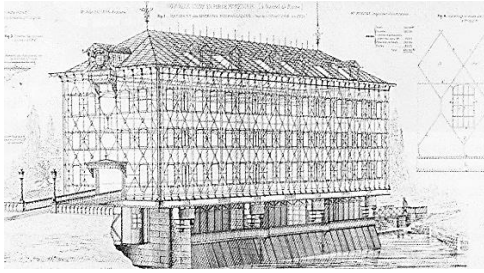


Fig. 9 - Edifício da fábrica de chocolates Menier, Noisiel, França (1872). Projecto Eng. Armand Moisant, Arq. Jules Saulnier (Addis, 2007).



Fig. 10 - Crystal Palace, Hyde Park, Londres (1851) (<http://www.ecole.co/classics/paxton/crystal-palace-london-england/image-711/>).

material, o que por sua vez permitia projectar e construir soluções espaciais dotadas de maior funcionalidade.

É através das exposições industriais que a partir de 1851 mais espectacularmente se podem acompanhar os progressos da Engenharia do ferro. A primeira exposição universal tem lugar em Londres e o *Crystal Palace* (cf. figura 10) passa a ser um símbolo incontornável da nova tecnologia (Benévolo, 1996, p. 135). Curiosamente, a expressão arquitectónica do ferro e do aço não é absolutamente revolucionária uma vez que parecem evidentes os paralelismos dessas tecnologias com a imagem tecnológica da madeira. Um bom exemplo desse facto pode ser observado na Chocolataria Menier em Noisiel-sur-Marne de 1871-72 (cf. figura 9). Saulnier, propôs uma solução de aço estrutural em “gaiola”, inspirando-se de forma evidente nos processos correntes na construção em madeira (Giedion, 2008, p. 204) para os reticulados pesados. Este processo de imitação é também claramente visível nos exemplos da cúpula da Halle au Blé (cf. figura 8) em Paris (Giedion, 2008, p. 176) e no desenho das estruturas de aço da construção em altura de Chicago (Kucker, 2002, pp. 171-172).

Para além das exigências funcionais e de segurança que promoviam o uso do aço e do ferro - muitas vezes revestidos por questões de segurança, como refere Strike (2004, pp. 83, 84) - haveria que contar também com o inevitável argumento estético (Benévolo, 1996, p. 35). O aço proporcionava uma esbeltez nos elementos de construção sem paralelo noutro material. Segundo Giedion (2008, p. 252) foi reconhecido na altura da construção do *Crystal Palace* que a combinação do vidro e do aço invocava uma “nova imaginação nascida do espírito do tempo”. Este autor diz ainda que no final do século XIX, em alguns países da Europa se exigia uma postura teórica de “moralidade na Arquitectura” (Giedion, 2008, pp. 25, 293). A Arquitectura dominante de cariz Romântico seria, nas palavras de Van de Velde, “uma mentira”, pelo que se clamava por uma nova pureza de expressão, adequada ao tempo e à forma de sentir da época. A este apelo parecia responder com vigor a construção moderna, tanto através das estruturas de ferro belgas como das estruturas de betão armado francesas.

A introdução do betão armado na construção resultou dos esforços conjugados de diversos intervenientes tendo sido desenvolvido, em parte, por oferecer uma maior resistência ao fogo, como o assinala Frampton (1996, p. 122). Tal como aconteceu com o aço, irá ser adoptada como referência para a expressão construtiva do betão armado, a tecnologia das estruturas de madeira. Curtis (1991, p. 39) afirma que o sistema Hennebique tem a fisionomia de uma “gaiola” de madeira (*timber-frame*) e na mesma linha Frampton (1997, p. 19) aponta o exemplo de Perret que ao detalhar as suas estruturas em betão armado vai assumir como modelo o método das estruturas de madeira.





Fig. 11 - Ateliers de confections Henri Esders, Paris (1919).  
Arquitecto Auguste Perret  
(<http://chahuts.com/albums/reconstruction/?item=16902>).

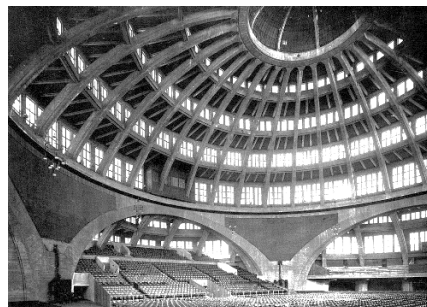


Fig. 12 - Palácio do Centenário em Breslau (1911-13).  
Cúpula 67m diâmetro. Arq. Max Berg e Eng.  
Dyckerhoff & Widmann ([http://www.explorations-architecturales.com/data/new/fiche\\_90.htm](http://www.explorations-architecturales.com/data/new/fiche_90.htm)).

No final do século XIX o betão armado é sujeito a uma grande evolução, acompanhada, tal como aconteceu com o aço, de diversos estudos teóricos que fazem sentir a necessidade de estabelecer normas para o controlo dos vários sistemas de cálculo em uso. Em 1906, em França, publica-se o primeiro regulamento oficial, seguindo-se depois outros países nesse processo normativo (Benévolo, 1996, pp. 351, 351). A existência de regulamentos que estabelecem limites de segurança e de qualidade contribui para que o betão armado venha a ser uma tecnologia amplamente difundida. Segundo Giedion (2008, p. 323) foi entre 1910 e 1920 que o betão se assumiu como a marca da nova Arquitectura. Até aí tinha sido empregue principalmente em fábricas, silos e reservatórios, principalmente devido ao baixo custo, à possibilidade de atingir maiores vãos estruturais e devido à sua incombustibilidade (Curtis, 1991, p. 39).

As qualidades arquitectónicas do betão armado poderiam ser observadas com mais propriedade nas obras de Arquitectos como Auguste Perret (cf. figura 11). Por exemplo no seu edifício da Rue Franklin de 1903, que servirá sem dúvida de inspiração a Le Corbusier, antecipam-se os princípios formais da Arquitectura Moderna: consolas, cobertura plana ajardinada, planta flexível e a expressão verdadeira da estrutura (Giedion, 2008, pp. 329-332).

O aço e o betão desenvolveram-se um pouco à imagem da madeira, mas com claras vantagens em relação a ela. Maiores vãos, maior altura das construções (cf. figura 12), uma maior esbeltez estrutural e uma suposta maior protecção ao fogo. A “expressão verdadeira” e a economia do material eram princípios que se satisfaziam plenamente na Arquitectura de ferro e vidro. Mas o seu carácter industrial não se adequava em princípio à imagem considerada aceitável para os edifícios de habitação. Já o betão, anunciava ser um material que adoptando a linguagem construtiva das estruturas porticadas em madeira (preenchidas e revestidas) cumpria os requisitos da Arquitectura residencial. Le Corbusier pretendeu demonstrá-lo com o sistema “Dom-ino”. Adicionalmente se o betão fosse usado como uma massa plástica moldável e monolítica parecia ser o sistema que se apresentava melhor colocado para ir ao encontro das aspirações e princípios da Arquitectura Moderna.

#### 1.1.1.4 SÉCULO XIX - VERDADE E PRAGMATISMO

Ford (1997, p. 3) distingue duas abordagens arquitectónicas no âmbito dos princípios construtivos veiculados no século XIX: a monolítica por um lado e a estratificada por outro<sup>2</sup> (cf. figuras 13 e 14). Como arauto do primeiro modo surge Viollet-le-Duc que criticava a Arquitectura romana por estar associada a uma construção de revestimentos e de colunas

<sup>2</sup> Kenneth Frampton refere-se à construção estratificada através do termo “tectónica”, identificando-a especificamente com a construção em madeira (Frampton, *Studies in tectonic culture*, 1996). A abordagem tectónica teria como contraponto a abordagem estereotómica. Nesta tese a mesma dualidade de abordagens é referida com base nas terminologias, mais claras, de Ford: “construção monolítica” e “construção revestida” (Ford, *The details of modern architecture*, volume 1, 1997).

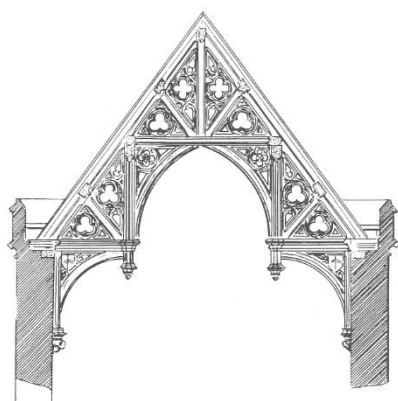


Fig. 13 - "Ancient Roof with the framing" em *The true Principles and revival of Christian Architecture* por A. Welby Pugin 1841. Desenho representando a construção "monolítica" que vai ao encontro do princípio da autenticidade estrutural (Frampton, 1996).

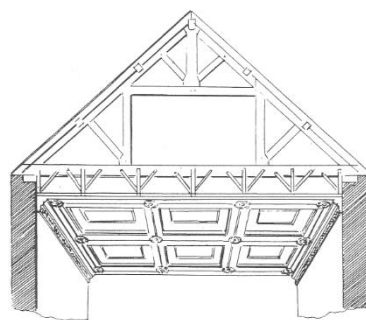


Fig. 14 - "Modern Roof with the framing concealed with plaster ceiling" em *The true Principles and revival of Christian Architecture* por A. Welby Pugin 1841. Desenho representando a construção "estratificada" escondendo a estrutura (Frampton, 1996).

não estruturais preferindo por isso a Arquitectura grega. Na defesa do segundo modo destacava-se Gottfried Semper que considerava não haver obrigatoriedade da Arquitectura em exibir a sua estrutura. Ford (1997, p. 4) diz ainda que o Modernismo dos anos 20 e 30, rejeitando a contradição de conviver com estes dois métodos, toma partido teórico pelo sistema monolítico das estruturas à vista.

Edward Pugin, autor de "*The true Principles and revival of Christian Architecture*" (cf. figura 13), que representava no século XIX a Escola gótica racionalista da construção monolítica exposta, recorria à casa medieval Inglesa em madeira para a apresentar como exemplo de um modelo de integridade no qual tudo o que a constitui é necessário à sua construção (Ford, 1997, p. 205). Numa posição oposta, Gottfried Semper, com base no exemplo de uma casa de madeira Suíça, pretendia demonstrar que a verdadeira estrutura poderia estar escondida sob os revestimentos de régua ou de painéis de madeira. Diz Ford (1997, p. 207) que este revestimento poderia expressar a estrutura, mas poderia também ser apenas um mero ornamento referenciado à forma de outros materiais.

A teoria que pareceu mais favorecida entre aqueles que mais se aproximaram da Arquitectura Moderna foi a que defendia as estruturas expostas, talvez como reacção a um século XIX em que muitas propostas arquitectónicas se baseavam no "estilo" visualizado e não na estrutura construída. Frampton (1997, p. 19) e Curtis (1991, pp. 37-39) consideram que a influência da "*Histoire de l'Architecture*" de 1899 de Auguste Choisy se fez sentir através da consolidação de ideias segundo as quais a construção é considerada a essência da Arquitectura e o estilo é entendido como o resultado lógico dessa construção. Auguste Perret, discípulo de Choisy, foi um dos Arquitectos que integrou na prática construtiva estas regras através das estruturas de betão armado.

O movimento Arts and Crafts deixou aos Arquitectos modernos uma herança de princípios dos quais vão ser seleccionados somente aqueles que servem os seus intentos. A "verdade" sendo provavelmente um dos mais referidos, é também um dos mais flexíveis (admite-se por exemplo o reboco sobre o tijolo). Ruskin, em 1849 na sua obra *Seven Lamps of Architecture* defende o valor da verdade através da crítica às manifestações do falso (Benévolo, 1996, p. 202). Ford (1996, pp. 21,22) identifica também os ideais de construção herdados do século XIX pela Arquitectura Moderna destacando de entre eles: a eficiência material ("a melhor estrutura usa o mínimo material para o máximo espaço"); a identidade entre Arquitectura e estrutura ("a estrutura deve ser clara e visível"); a transparência; e a standardização (normalização, industrialização e redução do número dos elementos de construção).

É evidente a importância da construção na formulação dos princípios teóricos que enquadravam os movimentos do século XIX. Viollet-le-Duc por exemplo deu eco à ideia segundo a qual o "grande estilo" dos tempos modernos surgiria das novas técnicas de construção (Curtis, 1991, p. 19). Mas as ideias de verdade e de construção monolítica, herdadas dos movimentos racionalistas e neo-góticos viriam a ser de muito difícil concretização. A doutrina de Gottfried Semper, mais realista, combateu a existência de um determinismo entre expressão construtiva e estrutura. Kenneth Frampton (1996, p. 16) diz que há nesta sua teoria uma distinção entre a natureza ontológica da fundação-estrutura-cobertura e o carácter mais simbólico da parede de revestimento. Este princípio pragmático (de que é exemplo o sistema *balloon-frame*) vai provar ser mais adequado à realidade, permitindo que a expressão arquitectónica não tenha de estar directamente relacionada com a tecnologia adoptada nos elementos estruturais.

#### 1.1.1.5 SÉCULO XX - DECADÊNCIA E RECUPERAÇÃO

O século XX será a época do nascimento, consolidação e fim do Movimento Moderno. A História da Arquitectura do século XX deu relevo aos materiais que com maior eficácia responderam aos princípios teóricos modernos, relegando a madeira para um plano secundário. O uso da madeira foi de facto muito diminuto em todos os tipos de edifícios modernos com excepção da habitação unifamiliar na América do Norte e pontualmente na Europa do Norte. Mas no último quarto do século XX assistiu-se a uma mudança de paradigma no pensamento da construção. Esta relacionou-se primeiro com as críticas pós-modernas ao modelo de desenvolvimento anterior, e mais tarde com a valorização das identidades regionais e com a emergência das preocupações ambientais.

A madeira por ser um material renovável e porque a sua produção pode ser acompanhada por uma gestão sustentável da floresta, passou a figurar nas opções dos Arquitectos para as soluções estruturais e não apenas para os revestimentos. Este "renascimento" da madeira foi acompanhado de novas variantes do material cujos processos de fabrico cada vez mais dividem, seccionam e trituram a matéria original, gerando produtos que eliminam algumas das suas fragilidades tradicionais. A diversidade de produtos é tão grande que falar de "madeira", de "construção em madeira" e de "princípios construtivos da construção em madeira" é designar um universo com realidades muito diferentes entre si, como se verá mais à frente.

#### 1.1.2 PRINCÍPIOS CONSTRUTIVOS

Com o objectivo de analisar a evolução dos princípios da habitação em madeira elegeu-se a estrutura portante como o aspecto arquitectónico mais relevante de entre todos os que podem ser considerados: funções, espaço, estética, estrutura, envolvente, compartimentação. Esta opção relaciona-se com o princípio que se assume e aceita neste trabalho segundo o qual "uma casa de madeira é aquela que tem uma estrutura de madeira".

A análise da habitação com enfoque na componente estrutural exige um esforço de definição de conceitos que garantam a coerência de terminologias nos capítulos seguintes. Observando alguns textos sobre a História ou Teoria da Arquitectura conclui-se que os autores que procedem a uma classificação dos princípios construtivos de base tomam o seu discurso mais claro e objectivo. Este procedimento permite organizar as descrições (dividindo-as em capítulos adequados a cada tipo, por exemplo), conferindo coerência ao texto e possibilita depois efectuar análises integrando os componentes funcionais, espaciais, simbólicos e construtivos relevantes para cada caso.



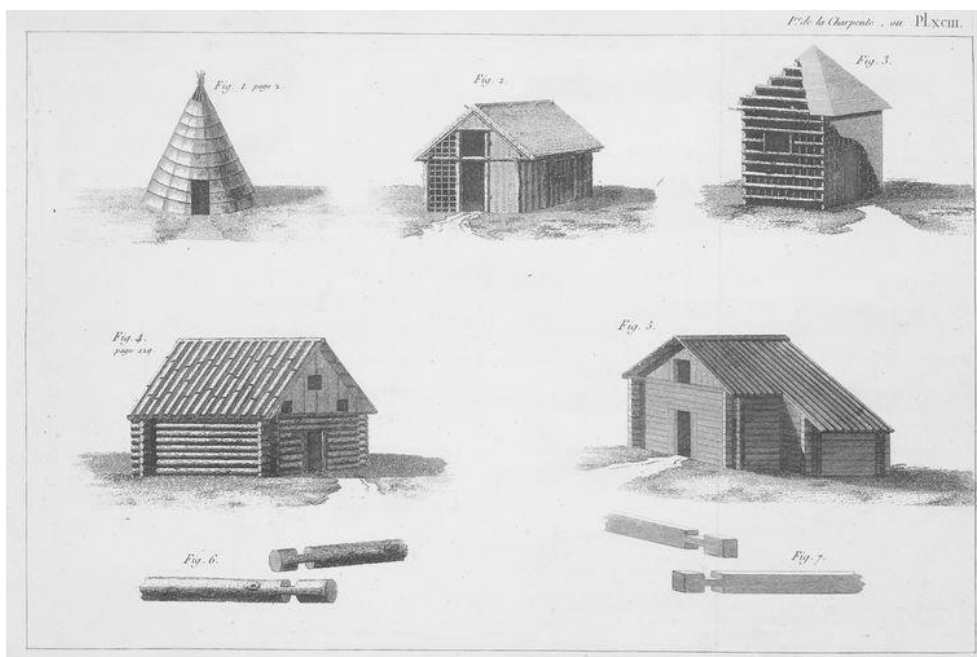


Fig. 15 - Evolução dos princípios construtivos em madeira segundo Rondelet. - *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Tome quatrième. Author, Jean Rondelet. Edition, 7. Publisher, Firmin-Didot frères, 1834 (<http://digitalgallery.nypl.org/>).

Neste trabalho, parte-se de uma revisão das classificações propostas por outros autores e propõe-se um sistema que possa ser coerente para descrever as tradições da construção em madeira na habitação que se seguirão nos capítulos seguintes.

Uma das formas de explicar realidades complexas consiste em identificar princípios opostos nessa mesma realidade, efectuando-se assim uma primeira distinção entre os objectos de análise. Nesta linha Nuttgens (1993, pp. 10, 11) afirma que até ao século XX, se assistiu sempre a dois modos de construir: por um lado, o processo da montagem de blocos que dava origem a planos contínuos e por outro lado, o processo da armação de um reticulado que dava origem a um “esqueleto” descontínuo. Também Raeburn (1986) assume esses dois paradigmas, associando a pedra às paredes maciças (*solid walls*) e a madeira à construção reticulada (*skeleton construction*). As grandes classificações têm no entanto limitações evidentes quando são confrontadas com a realidade. A madeira por exemplo não tem o exclusivo da construção reticulada, tendo sido este o modo adoptado pela construção em pedra nas estruturas góticas da Idade Média e na construção metálica do século XIX<sup>3</sup>. Por outro lado, a alvenaria não detém o monopólio da construção maciça já que a antiga prática da construção com toros se enquadra precisamente nesta classificação.

Se a abordagem for restringida ao universo da construção em madeira, alguns autores como Hansen (1971, p. 7), Brunskill (2000, p. 36) e Pryce (2005, p. 20) consideram também dois tipos principais de construção: os toros ou a construção maciça (*log construction* ou *blockwork*) por um lado, e os porticados/reticulados<sup>4</sup> (*frame construction*) por outro. Na construção maciça os esforços provenientes da cobertura e dos pavimentos transmitem-se para as fundações através das paredes que são também os elementos de definição do espaço interior e de protecção ambiental. A construção com toros consiste na sobreposição dos toros cilíndricos ou serrados, para concretizar paredes perpendiculares. A construção

<sup>3</sup> O autor refere-se depois à construção de “casca bidimensional” (*surface construction*), identificada com elementos estruturais de reduzida espessura, como as “casca” de betão, onde o material é utilizado como se fosse um elemento bidimensional.

<sup>4</sup> Hansen (1971, p. 7) refere também que o modelo das estruturas reticuladas em madeira serviu de inspiração ao desenvolvimento das estruturas metálicas e de betão armado actuais.

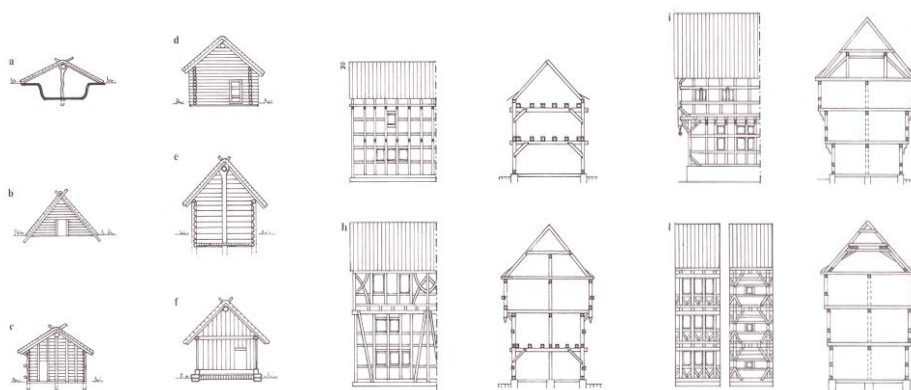


Fig. 16 - Evolução da construção em madeira, desde os porticados básicos (a), evoluindo para as paredes pesadas em toros (b-e), passando pelos porticados elaborados (f) e culminando nos reticulados pesados (restantes exemplos). Os reticulados pesados serão um marco importante na evolução da construção pelo aproveitamento das qualidades construtivas da madeira e pela especialização da sua função estrutural distinta da função de fechamento espacial (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

porticada consiste por outro lado na utilização de elementos ligados entre si através de juntas, dispostos segundo uma grelha espacial. Na construção porticada os esforços são redistribuídos pela estrutura e transmitidos, em princípio, pontualmente às fundações. Neste caso, as paredes assumem as funções de definição espacial e protecção, sendo independentes da estrutura, embora possam desempenhar também parcialmente uma função estrutural. Os porticados são convertidos em paredes através do preenchimento dos vazios por materiais de enchimento e revestimento.

Historicamente é razoável supor que os dois tipos de construção principais na habitação (toros e porticados) terão coexistido nas várias regiões de construção em madeira, mas pode-se atribuir às regiões com florestas densas de espécies coníferas com troncos rectos e longos o domínio da construção em toros (Pryce, 2005, p. 22). Ao contrário, as florestas de folhosas proporcionam em princípio árvores mais irregulares e variáveis na sua forma, apresentando no entanto uma elevada resistência, pelo que são muito adequados para a utilização em sistemas que incorporam elementos de dimensões mais reduzidas como acontece nos porticados e também nos reticulados. Raeburn (1986) detalha esta ideia, associando a utilização da madeira de Carvalho<sup>5</sup> em Inglaterra e França às estruturas do tipo porticados em ogiva (*cruck frame*) e às estruturas do tipo gaiola (*box frame*). Já a utilização das madeiras resinosas, nos Alpes e na Escandinávia, pode ser associada às estruturas de toros horizontais (*horizontal logs*) e de pilar e prancha (*post and plank*).

A dualidade entre construção maciça e porticada/reticulada, não cobre no entanto o universo de soluções que se encontram na história da Arquitectura. Brunskill (2000, p. 54) refere que os tipos de construção em madeira mais utilizados na Europa (do ponto de vista da Arquitectura vernácula) são: os toros horizontais, os reticulados de madeira e acrescenta o já referido “poste e prancha”<sup>6</sup> (*post and plank*). Turan (2009) referindo-se também a este último sistema considera que tal como na construção com toros, o comportamento estrutural é mais o de uma superfície que o de um reticulado.

A tentativa de compreender a evolução dos sistemas construtivos em madeira na habitação é uma tarefa complexa porque a diversidade de soluções encontradas em cada continente e em regiões específicas é muito vasta. A consulta da bibliografia sobre a história da construção em madeira levanta uma primeira dificuldade que é a da terminologia e a da classificação.

<sup>5</sup> Brunskill descreve o carvalho como uma madeira muito resistente e pesado, com secagem muito boa e propenso a adquirir maior ductilidade com a idade.

<sup>6</sup> O autor diz ainda que apenas estes últimos existem no contexto da construção vernacular na Grã-Bretanha.

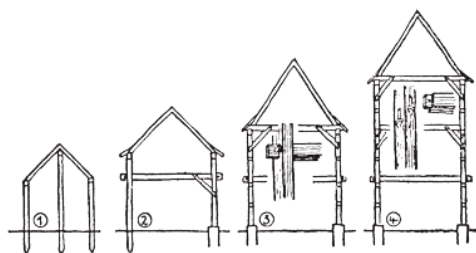


Fig. 17 - Desenvolvimento dos porticados desde os porticados básicos com estacas até aos reticulados pesados com escoras e ligações de mecha e respiga (Gerner, 2007).

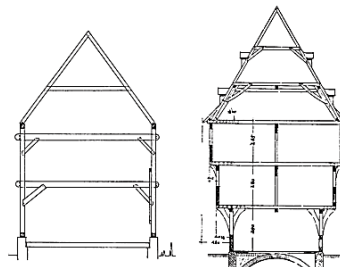


Fig. 18 - Comparação entre reticulados pesados básicos e reticulados elaborados (Gerner, 2007).

Neste capítulo tenta-se estabelecer uma primeira simplificação e uniformização nos conceitos que permitirá levar a cabo uma abordagem mais ordenada à cultura e às tradições da construção em madeira.

Propõe-se um sistema de tipificação das estruturas de habitação em madeira cujo factor de diferenciação seja o elemento vertical da estrutura independentemente das características dos outros componentes como a cobertura, o tipo de pavimentos, as fundações, os elementos de compartimentação espacial e os revestimentos. Privilegia-se a estrutura vertical, porque é esta que condiciona mais fortemente a definição dos outros componentes. Em “Canadian housing in wood - An historical perspective”, o autor reforça esta ideia quando descreve o sistema de toros, sublinhando que:

*“Reference is only made to building the exterior walls, because all other parts of the construction can vary according to what is appropriate to the location in which the house is built. This kind of heterogeneity is the hallmark of traditional empiric forms of construction” (Clayton, 1990, p. 58).*

Das várias abordagens encontradas na literatura, para além da distinção quase consensual entre estruturas maciças e estruturas reticuladas, surge como relevante fazer a distinção (por vezes difícil) entre estruturas reticuladas e as estruturas porticadas, frequentemente agrupadas na categoria “frame construction”. Assumindo como maior factor de distinção e classificação o resultado tridimensional de cada um dos grandes tipos estruturais, apresenta-se uma proposta que contempla três grupos: as **paredes** (designadas até aqui como estruturas maciças), os **reticulados** (designados frequentemente como gaiolas ou armações) e os **porticados** (designados como estruturas pilar-viga, apresentados até aqui como fazendo parte das estruturas reticuladas).

#### 1.1.2.1 ESTRUTURAS DE RETICULADOS

Os **reticulados** são estruturas em que os componentes verticais definidores do perímetro edificado são concretizados por elementos do tipo linear, dispostos na horizontal e na vertical, formando superfícies em grelha com espaçamentos entre si de reduzida dimensão. O grupo dos reticulados contempla uma segunda subdivisão estabelecida em função da secção e do peso dos elementos da estrutura. Assim, um reticulado leve será aquele em que os elementos da estrutura têm reduzida secção e um reticulado pesado será aquele em que os elementos da estrutura terão secções superiores (normalmente a partir de 125mm<sup>7</sup>). Pode ainda efectuar-se uma segunda distinção quanto ao grau de elaboração dos processos. Assim, um reticulado será básico se os elementos da estrutura forem toscos e não regularizados e as ligações forem efectuadas com base em processos expeditos e improvisados (atadas, pousadas, etc.). O reticulado será do tipo elaborado quando os

<sup>7</sup> Esta dimensão é apenas referencial e foi retirada da definição da obra “Glossary of Housing Terms”: (CMHC, 2013b) “Timber - A piece of lumber with a minimum dimension of 125 mm (4.92”)”. Os reticulados leves seriam então aqueles que utilizam a madeira serrada com secções inferiores (designada como “dimensional lumber”).

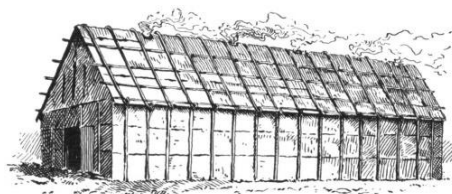


Fig. 19 - Casa dos Iroqueses "Longhouse" (embora surgisse principalmente com a superfície de cobertura curva), recorrendo a reticulados leves básicos (<http://www.gutenberg.org/files/25556/25556-h/25556-h.htm>).

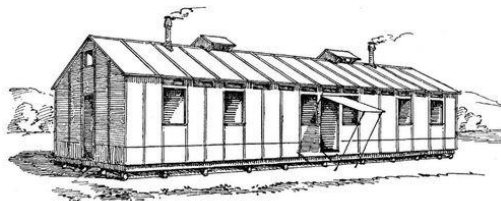


Fig. 20 - Construção militar (caserna, hospital de campanha) em reticulados leves. Note-se a semelhança com a "Longhouse". Lexikon der Gesamten Technik Editado por Otto Lueger, 1904 (<http://www.zeno.org/Lueger-1904/I/TL040565>).

elementos da estrutura forem regulares e as ligações efectuadas com processos que asseguram maior estabilidade e durabilidade, como os encaixes do tipo macho-fêmea. Estes podem contemplar ainda os produtos derivados de madeira como os lamelados.

Os **reticulados leves básicos** terão sido provavelmente o sistema adoptado para os primeiros abrigos, recorrendo integralmente a elementos vegetais, que depois seriam revestidos. A facilidade de obtenção de troncos ou ramos leves e flexíveis, e a simplicidade da sua montagem fazem deste sistema, o mais acessível de todos. Muitos dos exemplos dos abrigos primitivos actuais registados pelos antropólogos apontam para variantes deste tipo.

Os **reticulados pesados** correspondem aos sistemas do tipo gaiola desenvolvidos principalmente na Europa Central e Reino Unido, conhecido sob as designações de "fachwerkbau" na Alemanha, "half-timbered"<sup>8</sup> na Inglaterra, "colombage" ou "pans de bois" na França, "intelaia" na Itália, "entramados" em Espanha e "gaiola" em Portugal.

Os **reticulados leves elaborados** correspondem a soluções mais recentes, elaboradas já no século XIX, como o "balloon-frame" desenvolvido nos Estados Unidos da América, a partir de elementos normalizados de secção reduzida que depois evolui para outros sistemas como o "platform-frame" e suas variantes (cf. características no capítulo 2.1.2).

#### Reticulados leves básicos - Exemplos

Os reticulados são uma das soluções mais óbvias para a construção de abrigos, pertencendo ao grupo dos sistemas de construção primordiais. Na forma mais simples consistem na montagem de prumos de madeira dispostos lado a lado, inclinados e unidos num vértice ou posicionados na vertical e ligados a outros elementos que formalizam uma cobertura (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008). A leveza dos elementos de construção facilita a sua montagem, sendo uma escolha racional para soluções de habitação de dimensões reduzidas, associadas a abrigos temporários ou transportáveis, podendo no entanto adoptar-se em abrigos sedentários e de maior dimensão. A estabilidade da construção depende da forma global da construção que é complementada com materiais de fechamento, elementos vegetais, argamassas ou peles. A "longhouse" dos iroqueses por um lado (cf. figura 19) e o "yurt" Mongol por outro (cf. figura 21), são paradigmas das duas das tendências vulgarizadas ao nível dos reticulados leves de madeira: por um lado os sistemas sedentários e por outro os sistemas nómadas. Adicionalmente os "tipis" e os "wigwam" (cf. Figura 22) ajudam a completar a descrição da diversidade de formas que os reticulados básicos podem adoptar.

A casa dos iroqueses<sup>9</sup> (iroquois) Norte Americanos, constituída por um reticulado leve, é a chamada "long house". Em cada casa, com um vão que rondava os 6,5 metros, poderiam

<sup>8</sup> Uma explicação para o termo é avançada por Clayton (1990), referindo a relação que tem com o tipo de corte na secção do tronco. O corte "halved" consistia em dividir ao meio a secção quadrada do toro depois de retirada a parte residual do bome.

<sup>9</sup> A maioria dos iroqueses viviam no actual Estado de Nova York e intitulavam-se "Haudenosaunee" - as "pessoas da casa comprida".

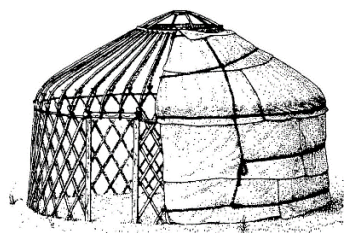


Fig. 21 - Reticulados leves básicos. Yurt Turco/ Ger Mongol  
(<http://quadralectics.files.wordpress.com/2013/10/531.jpg>).

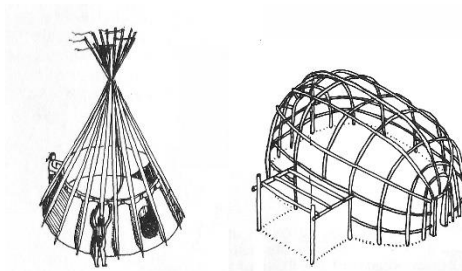


Fig. 22 - Reticulados leves básicos. Tipi e Wigwam Norte Americanos (Walker, 2002).

viver dez famílias (cerca de 50 pessoas). Utilizavam-se postes verticais, cravados no solo com um espaçamento de 60cm, recorrendo-se à madeira de Cedro pela sua resistência à podridão. No topo de cada poste ligavam-se travessas horizontais onde se iria apoiar a estrutura da cobertura através de uma asna básica com um elemento curvo em Ulmeiro. O revestimento poderia ser mais ou menos permeável, abrindo-se ou fechando-se determinadas zonas conforme as necessidades sazonais de isolamento e ventilação (Steele, 2009a, pp. 22-23). As características dos reticulados leves industriais vulgarizados a partir do século XIX (cf. Figura 20) pelos colonos Norte Americanos são espantosamente semelhantes às casas do tipo “*long house*”<sup>10</sup> (cf. Figura 19), podendo dizer-se que esta era uma versão básica do *balloon-frame* integrando já a normalização dos componentes leves e adoptando um módulo de 60cm.

Os *tipis*, os *wigwam* e os *yurts* são exemplares pela forma como permitem observar os diferentes graus de complexidade da construção dos reticulados mais elementares. Na América do Norte o abrigo móvel por excelência dos índios nómadas das planícies e especialmente os que caçavam búfalos era o *tipi*, cujos vestígios remontam a cerca de 5.000 AC. A sua construção cónica tinha por base um reticulado leve de elementos de cerca de 8,5cm de diâmetro que eram depois revestidos com pele de búfalo (Clayton, 1990). O *wigwam*, dos Algonquinos era um reticulado de elementos mais flexíveis, de planta circular ou elipsoidal e com forma abobadada ou em cúpula. Era reforçado, com ramos horizontais a ligar o reticulado de montantes principais e revestido com palha ou peles. Quando se iniciava um ciclo de migração as peles eram removidas, deixando-se a estrutura nos locais para utilização no ciclo seguinte (Kalman, 1995). Na Ásia, também de planta circular, o Yurt Turco<sup>11</sup> era um abrigo portátil de madeira e feltro de lã que parece agrupar as características de mobilidade do *tipi* e de flexibilidade construtiva do *wigwam*. Era fabricado com componentes que podiam ser transportados por um animal de carga, podendo ser montado em cerca de uma hora. As paredes laterais eram realizadas com ripas de madeira formando uma grelha retráctil. No Verão era utilizado como revestimento uma camada de feltro de lã, enquanto no Inverno eram adicionadas até oito camadas suplementares, para enfrentar as temperaturas extremas. O feltro era impermeabilizado com gordura animal (Rapoport, 1969, p. 110).

<sup>10</sup> Esta solução tem semelhanças com a *longhouse* dos Huron do sul do Ontário que teriam aproximadamente 23m por 7m (ou 24m por 8m segundo Kalman (1995), podendo chegar aos 9m por 55m, tendo-se mais a sul encontrado construções com 102m e 122m), com uma estrutura de postes que poderiam ir dos leves aos mais pesados e com o revestimento efectuado com casca de bétula (Clayton, 1990, p. 40).

<sup>11</sup> Tal como o Yurt, o Ger Mongol (“Ger” significa “casa” em Mongol) é o abrigo dos povos seminómades das estepes que acompanham o gado na procura de pastagens. A grelha das paredes é realizada em madeira de salgueiro muito flexível. Esta estrutura adequa-se ao clima de Inverno com temperaturas que chegam aos 30°C negativos, mas também se adapta aos Verões curtos e quentes. No Verão recorria-se à ventilação com entrada de ar ao nível do solo (levantando os revestimentos de feltro de lã) e abrindo a clarabóia da cúpula para saída do ar quente (May, Handmade houses, 2010a).

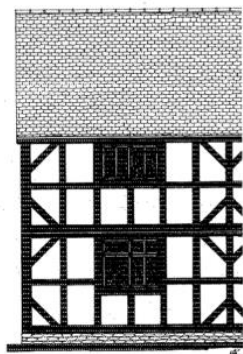


Fig. 23 - Reticulados pesados de montantes afastados (Clayton, 1990).

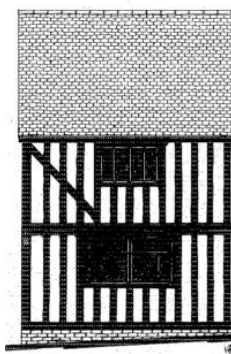


Fig. 24 - Reticulados pesados de montantes próximos (Clayton, 1990).

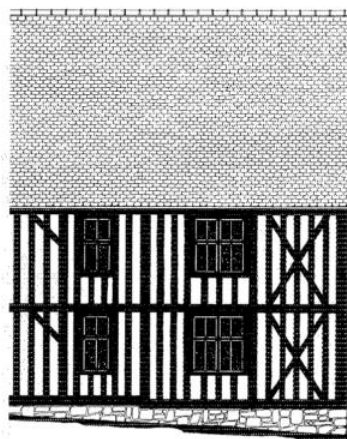


Fig. 25 - Reticulados de montantes próximos com cruz de Santo André, usual em França (Clayton, 1990).

### Reticulados pesados - Exemplos

Os reticulados pesados tradicionais terão sido desenvolvidos inicialmente em regiões onde a madeira não estava disponível em quantidades necessárias para a construção com paredes de toros. Proporcionavam uma economia de meios que consistia na utilização de componentes de menor dimensão realizados em espécies de madeira de folhosas (Kolb, 2008, pp. 54-55). Embora os reticulados pesados fossem já utilizados nas construções romanas, são as estruturas chamados de *fachwerkbau* na Alemanha<sup>12</sup> (cf. Figuras 23 a 25), que marcaram uma época e um modo específicos da construção, constituindo a referência histórica mais importante da construção em madeira na Europa Ocidental e Central (Provost, 2010). Os reticulados pesados foram o sistema dominante entre o século XIII e XVIII na Europa central e do norte, desde os Alpes à Escandinávia e desde a França à Rússia (incluindo a Inglaterra, a Dinamarca, a Holanda e muitos países do Leste). Correspondem a uma solução mais evoluída que o sistema das paredes pesadas em toros (*blockbau* ou *log building*) que se revelou mais direccionado para as populações rurais e mais próprio para soluções de pequenas casas, abrigos de animais e armazéns de cereais. Com este sistema as propriedades mecânicas da madeira são optimizadas no sentido em que aos elementos de madeira é atribuída a função estrutural, enquanto aos outros materiais, como o tijolo e as argamassas estruturadas, são atribuídas as funções de estanquidade e isolamento térmico.

Os reticulados pesados possibilitaram aumentar a dimensão e a altura dos edifícios, tendo-se atingido com alguma frequência os 5 e 6 pisos (incluindo os pisos sob a cobertura) (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 48). Este era um sistema muito exigente uma vez que a sua qualidade dependia em grande parte da boa execução das ligações entre os diversos elementos (cf. Figuras 26 e 27). Essas ligações eram efectuadas mediante entalhes por vezes complexos. Assim, era necessário contar com carpinteiros especializados num trabalho cujo tempo de laboração era também longo.

A partir de meados do século XVIII o sistema entra em declínio devido a transformações sociais e tecnológicas, no contexto da revolução industrial. Até metade do século XIX, a maioria das estruturas de reticulados tradicionais eram construídas com a estrutura à vista complementada com o preenchimento entre vazios. Mas o revestimento total das paredes com reboco a imitar a pedra e o tijolo começou nas cidades ainda antes do século XIX tendo-

<sup>12</sup> Uma tradição particularmente rica pode ser observada no sul da Alemanha e nos vizinhos cantões suíços de Thurgau, Zurich, Schaffhausen, Appenzell e St Gallen (Kolb, 2008, p. 54).



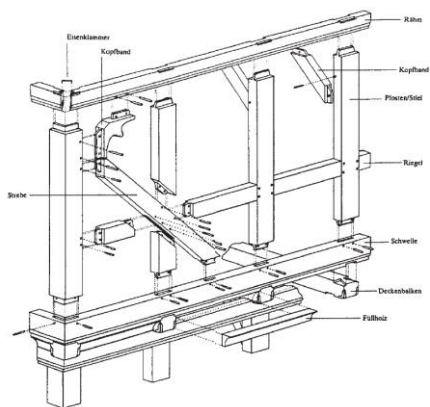


Fig. 26 - O encaixe com mecha e respiga torna-se comum a partir da segunda metade do século XVI na Alemanha (Gerner, 2007).

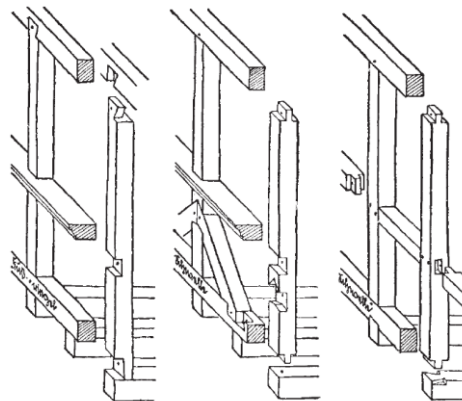


Fig. 27 - Evolução dos encaixes de meia madeira para os encaixes do tipo mecha e respiga na Alemanha (Gerner, 2007).

se esta prática disseminado na segunda metade do século XIX. Os construtores consideravam por um lado que deste modo se melhorava a resistência ao fogo, mas pretendiam igualmente conferir um carácter mais urbano ao edifício de madeira que era visto com uma solução rural (Kolb, 2008, pp. 54-55). A indústria do aço, a invenção de máquinas de fabrico de ligadores como os pregos e os métodos de prefabricação contribuem para o surgir de novos processos otimizados nos custos, no tempo de produção e na mão-de-obra. (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 50).

A construção das habitações reticuladas era de certo modo já associada a princípios de pré-fabricação como o demonstram as numerações romanas empregues para identificar a posição correcta de cada componente na obra. A casa podia ser entendida com um conjunto de planos individuais identificáveis e montados sucessivamente como as peças de um *kit* constituindo por sua vez conjuntos organizados hierarquicamente: planos dos topos e tramos interiores, fachada principal e posterior e pavimentos. Em Inglaterra as casas de menor dimensão seguiriam uma planta normalizada com três tramos, fazendo-se a entrada pelo tramo central. As soluções de parede variavam entre dois tipos de reticulados: o de malha quadrada e o de montantes próximos. Em geral, os painéis quadrados surgiam mais frequentemente no Oeste e os montantes próximos encontravam-se no Leste. Em França já não é tão evidente uma divisão regional deste tipo, embora se possa identificar a tendência dos montantes próximos na Normandia e em Les Landes (Clayton, 1990) (cf. Figuras 23 a 25).

Utilizavam-se elementos com secções quadradas ou próximas (cerca de 10cmx12cm) (Vasconcelos, Lourenço, & Poletti, 2013), mas também 10cmx10cm, 12cmx12cm, ou 14cmx14cm (Steiger, Timber construction, 2007) do cerne da madeira, deixando-se a estrutura à vista e preenchendo os vazios com tijolo ou “argamassa armada” (*wattle and daub*). Este preenchimento era frequentemente um entrelaçado de ramos de árvores, dispostos em grelha (*wattle*) envoltos numa mistura de argila, e esterco (*daub*), sobre o qual se poderia aplicar um acabamento final com cal. A partir de metade do século XVI, este enchimento foi sendo substituído pelo tijolo. Esta opção tinha uma série de desvantagens, sendo a principal o peso do tijolo que passou a exigir uma estrutura de madeira mais robusta<sup>13</sup> (Pryce, 2005, p. 105).

<sup>13</sup> Para além disso, os tijolos eram mais porosos que a “argamassa armada” (*wattle and daub*). A espessura de 4 1/2” (11,4cm) do tijolo projectava-se muitas vezes para o exterior dos elementos de madeira criando ressaltos onde a água da chuva se alojava criando condições para o ataque biológico.

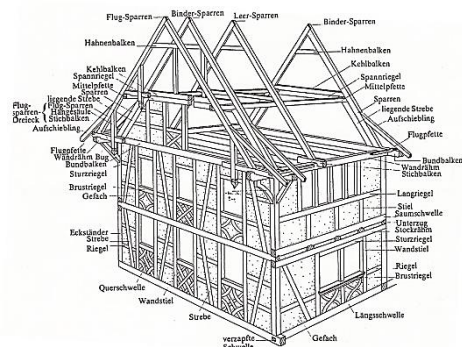


Fig. 28 - Reticulados pesados tipo *Fachwerk* (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008).



Fig. 29 - Reticulados pesados tipo *Fachwerk*. Perspectiva da casa Panecke na região de Hamburgo (século XIX) (Moyan, 2009).

No contexto da Europa Central as características formais e técnicas da estrutura eram definidas por três factores básicos: 1) A direcção da grelha de vigas principais de pavimento relativamente à fachada de empena<sup>14</sup>; 2) Os elementos adicionais (verticais e horizontais) de enquadramento dos vãos (janelas e portas) responsáveis por tornar a gaiola mais compacta; e 3) Os elementos diagonais de contraventamento, utilizados para conferir rigidez à “gaiola” estrutural (que por si só era limitada pela rigidez das ligações). Só quando o afastamento entre elementos da estrutura vertical era muito reduzido, não se utilizavam as escoras de travamento. A disposição das escoras seguia em princípio uma linha de 60° com a horizontal, ligando as vigas com os postes. A sua forma era em princípio linear, mas desenvolveram-se a partir do século XVI escoras curvas em “C” ou “S”, tendo em vista também uma função estética (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

As alturas dos edifícios variavam entre os dois e os três pisos, permitindo as coberturas a criação de outros tantos pisos adicionais. A estrutura da cobertura ao contrário do que era comum no sul da Europa era realizada com vigas de cobertura ou pseudo-asnas, sendo rara a solução da asna, provavelmente porque sendo as coberturas mais inclinadas, a componente horizontal das cargas era também mais reduzida. Quando se utilizava o piso de sótão, as pseudo-asnas eram ligadas às vigas de pavimento, que acabavam por funcionar como a linha de uma asna. O revestimento era feito com telhas, soletos ou ladrilhos de pedra com espessuras reduzidas.

Em regiões como a Grã-Bretanha, a Suíça, a Dinamarca e a Escandinávia, os edifícios de reticulados pesados são de dimensões mais reduzidas que os da Alemanha, localizando-se principalmente em áreas rurais. Nestes casos, as coberturas tinham sob elas apenas um piso e eram frequentemente revestidas com colmo. Na Grã-Bretanha o colmo surge em pequenos edifícios, com asnas de linhas elevadas e vigas ligadas a elas por intermédio de elementos curvos (Benedetti & Bacigalupi, 1988). Nas estruturas reticuladas pesadas as relações entre os elementos são efectuadas por ligações cujas características variam muito em função do período e tipologias<sup>15</sup>. Estas eram efectuadas normalmente através de entalhes reduzindo-se

<sup>14</sup> Quando as vigas principais de pavimento são paralelas à fachada, as extremidades das vigas de pavimento que repousam sobre elas ficam em geral à vista. Quando as vigas principais são perpendiculares à fachada, os topos dessas vigas secundárias de pavimento, não são visíveis, ficando normalmente à vista o conjunto da viga principal e da viga de pavimento como se fosse uma coruja com cerca de 45 a 60cm. Normalmente as vigas de pavimento eram de secção quadrada, o que do ponto de vista estrutural não seria a melhor solução. Os vazios dos vãos de janelas surgiam aproveitando os elementos verticais da estrutura, introduzindo-se um elemento horizontal de peitoril e por vezes um vertical de lintel (se o vão não tivesse a altura do pavimento). Noutras situações, criavam-se elementos secundários verticais de menor secção que formalizavam as ombreiras dos vãos, e ajudavam a conferir rigidez à estrutura. (Benedetti & Baciagalupi, 1988).

15 As ligações normalmente pertencem a uma das seguintes famílias: ligação entre elementos horizontais na mesma direcção; ligação entre elementos horizontais em direcções perpendiculares (L ou T); ligações entre elementos verticais e horizontais (L ou T) e ligações oblíquas para elementos de cobertura ou escoras.



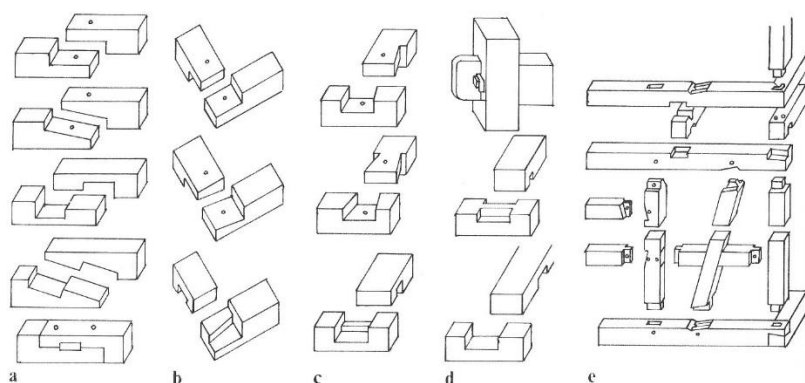


Fig.30 - Uniões longitudinais, uniões perpendiculares em L, uniões perpendiculares em T, exemplo de conjunto de elementos construtivos (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

e fragilizando-se inevitavelmente a secção da área resistente dos elementos. As ligações mais comuns são: meia-madeira (simples, dupla, recta ou oblíqua); cauda de andorinha (ou malhete) completa ou à meia madeira; com mecha e respiga, seca ou passante, com cunha ou com cavilha (cf. Figura 30) (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

Encontram-se na Europa várias "escolas" de reticulados pesados, cada uma com singularidades regionais. Em França, foi utilizada desde o século XII, a **técnica das peças longas** (*bois longs*) que será progressivamente abandonada entre o fim do século XV e a metade do século XVI. Mas é logo a partir do século XIII que as peças de grande dimensão se tornam cada vez mais raras e dispendiosas. Por outro lado, as cidades densificam-se e torna-se difícil introduzir as peças compridas nas suas ruas estreitas. A **técnica das peças curtas** (*bois courts*) desenvolve-se no século XV e impõe-se nas casas "à colombages" no final do século XVII. Mais fáceis de colocar em obra conduzirão ao desenvolvimento da construção em ressaltos, na qual a superfície de pavimento aumenta em cada nível. Com este recurso, os proprietários das cidades (confinadas aos perímetros murlhados e por isso cada vez mais densas), ganham assim metros quadrados de espaço adicional. Os ressaltos protegem também da chuva as paredes dos pisos inferiores, ainda que lhes retirem luminosidade (Provost, 2010). A projecção da cobertura em relação ao plano da fachada surge nos edifícios urbanos com uma reduzida dimensão, podendo ser mais significativa nos edifícios rurais. Quando a projecção é maior, utilizam-se caibros (ou varas) exteriores ligados aos postes verticais. (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

A técnica do ressalto (*jettying*) para além de uma resposta à necessidade de espaço e ao problema da durabilidade das fachadas comporta em si mesma uma vantagem estrutural, servindo para contrabalançar as cargas do interior, reduzindo a tendência para o encurvamento das vigas (Pryce, 2005, p. 105). Em 1410 as autoridades de Frankfurt limitaram os ressaltos a cerca de uma jarda (0,91m) e o piso seguinte a cerca de  $\frac{3}{4}$  dessa primeira dimensão (0,68m) (Pryce, 2005, p. 122). No século XIX em França, muitas sacadas vão desaparecer, vítimas do procedimento de alinhamento de ruas e do Decreto de 1817 relativo à sua destruição. A partir desta altura, como já foi referido, numerosos proprietários vão rebocar as suas fachadas para imitar a construção em alvenaria que tinha passado a ser o modo de construção preferencial depois do século XVIII. (Provost, 2010).

Na Alemanha distinguem-se em geral três regiões, sistemas ou "estilos"<sup>16</sup> de "*fachwerk*" (Schmitt, 1992, p. 375) (Gerner, 2007): o do norte, o do central e o do sul (cf. Figura 31). No norte (sistema "Niederdeutsch", também chamado Saxónico) desenvolveram-se as

<sup>16</sup> Para além desta divisão é também estabelecida uma periodização temporal (Gerner, 2007) que não será aqui referida.



Fig. 31 - Regiões e tipos de "fachwerk" na Alemanha: Saxônico, Francônio e Alemânico (<http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm>).

construções de três nave com um *hall* central, sendo em geral as estruturas dos edifícios mais racionais e menos decorativas. No centro, nas montanhas de média altitude, passando pelo sul até Necker, no Leste até à Polónia e no Oeste até à Alsácia Francesa (sistema "Mitteldeutsch", também chamado Francônio), desenvolvem-se os edifícios com as empenas triangulares na fachada principal, por vezes recorrendo muito a composições estruturais com intenção decorativa. No sul entre o rio Neckar e o lago Constance, na Floresta Negra e na Floresta da Bohemia (sistema "Oberdeutsch", também designado como Alemânico) desenvolvem-se as soluções de vãos entre pilares mais amplos, com uma divisão frequente de cada piso com duas vigas intermédias e utilizando normalmente vigas duplas resultantes no tipo de pavimento Alemânico do século XIV. A partir de 1600, as influências mútuas terão levado as várias regiões a adoptarem os métodos de construção dos territórios vizinhos (Stabe, 2009).

Em Inglaterra, a montagem das estruturas reticuladas do tipo gaiola (*box-frame*) na maioria dos casos iniciava-se com a colocação das vigas de pavimento (ou de soleira) sobre as fundações e com a instalação dos montantes sobre ela. Estes montantes eram mantidos na vertical por intermédio de escoras temporárias ou permanentes. Depois as vigas (ou travessas) superiores eram ligadas aos topos de cada montante. Finalmente a viga de tracção (*tie beam*) era encaixada no topo das anteriores vigas e dos pilares já montadas, consolidando a ligação entre planos de paredes opostos. Os montantes intermédios eram depois colocados nas respectivas posições. Haveria algumas variações nesta prática nomeadamente através da montagem conjunta dos postes e da viga de tracção no pavimento ou também a solução de montagem por inteiro de um plano de parede completo<sup>17</sup> (Brunskill, 2000, p. 54).

#### Reticulados leves elaborados - Exemplos

O exemplo mais conhecido dos reticulados elaborados será o "*balloon-frame*" (cf. Figura 33) que deve o seu nome à ironia e cepticismo<sup>18</sup> com que os seus contemporâneos o receberam, embora outros nomes como "*basket frame*" tivessem sido considerados mais adequados por outros autores (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 141). Um conjunto de factores como a necessidade de construir rapidamente os edifícios necessários à colonização dos novos territórios americanos, a facilidade do seu transporte devido à baixa densidade do material, a ausência de trabalhadores especializados e a abundância de madeira em conjugação com a industrialização da produção de pregos levaram à invenção do sistema que iria suplantear os porticados e os reticulados pesados utilizados pelos primeiros colonizadores americanos (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

<sup>17</sup> O autor considere no entanto que esta não era uma prática comum.

<sup>18</sup> Steiger (2007) relaciona o nome com a leveza característica do sistema.

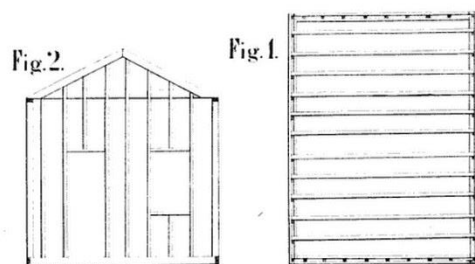


Fig. 32 - Reticulados leves elaborados - Desenho de apoio à construção de uma cabana segundo o sistema "balloon-frame" (Bell W. , 1859).

Plate I.

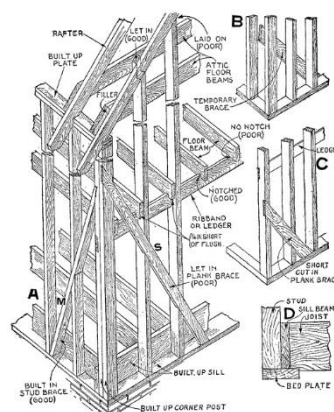


Fig. 33 - Esquema do "balloon-frame" - Audel's Carpenter's and Builder's Guide 1923  
([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Balloon\\_frame.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Balloon_frame.jpg)).

O manual do século XIX "*Carpentry made easy*" de William Bell (1859) começa por descrever o sistema "balloon-frame" antes dos outros precisamente porque o considera como o mais simples (cf. Figura 32). A sua explicação começa com um caso prático: uma cabana de 16'x12', ou seja 4,87mx3,65m. O processo seria iniciado pelo corte das travessas de pavimento com secção de 2"x6" e pela sua instalação formalizando o perímetro da construção. Depois preparavam-se os montantes de 2"x4", fazendo um entalhe na base e outro no topo tendo o cuidado de prever uma secção de montantes de 4"x4" nos quatro cantos da cabana (hoje optar-se-ia por ligar dois montantes de 2"x4"). De seguida preparava-se o reticulado de cada uma das fachadas pregando-se os montantes à travessa de topo com a mesma secção que os montantes, distanciando-os entre si 14" ou 16", ou seja 0,35m ou 0,40m, de eixo a eixo. Uma vez terminado cada um dos quatro planos reticulados, estes poderiam ser montados. A descrição de Bell segue depois, na linha de um manual de instruções sem grande complexidade, acompanhando a sequência de procedimentos desde o pavimento até à cobertura<sup>19</sup>.

Os reticulados leves tipo "*platform-frame*" são actualmente o método corrente de construção de edifícios de um e dois pisos na América do Norte (Kolb, 2008, p. 60). Apesar da importância do sistema "balloon-frame" no crescimento das cidades Americanas como Chicago e S. Francisco, as suas limitações quanto ao número de pisos (dois como máximo) (Benedetti & Bacigalupi, 1988) e a necessidade de usar componentes longos terá conduzido ao desenvolvimento de um novo sistema. O "*platform frame*" permitia mais facilmente prefabricar e transportar os componentes, passando o trabalho em obra a ser mais facilitado. Em termos de segurança contra incêndio este sistema oferecia também maior protecção uma vez que deixava de haver continuidade entre os componentes de diferentes pisos.

Inspirados pelo sucesso da experiência americana, os primeiros sistemas baseados nos modelos do "balloon-frame" e do "platform-frame" apareceram na Europa por volta de 1930 (designados por "*timber-stud construction*"). No entanto esta forma de construção só se generalizou no continente durante os anos 80 e 90 do século XX mediante o apuramento do sistema original através da evolução para o sistema de painéis reticulados. Esta adaptação toma lugar num contexto muito diferente dos EUA em termos de estrutura de fabrico, e de exigências de qualidade específicas da Europa (Kolb, 2008, p. 60).

<sup>19</sup> Mais à frente o manual fornece as instruções para outros dois tipos de edifícios com um sótão e com um piso suplementar.



Fig. 34 - Habitações nos Alpes com estacas  
(Suter & Schlicherle, 2009).

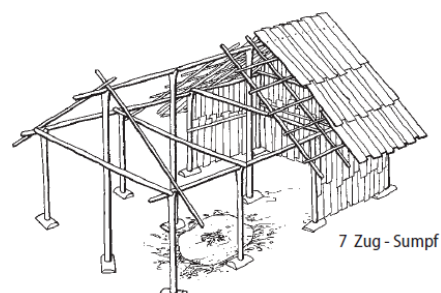


Fig. 35 - Habitações nos Alpes com fundações  
(Suter & Schlicherle, 2009).

#### 1.1.2.2 ESTRUTURAS DE PORTICADOS

Os **porticados** são estruturas em que os componentes verticais definidores do perímetro edificado são concretizados por elementos do tipo linear, dispostos na vertical e na horizontal, formando conjuntos de pilares e vigas, individualizados em pórticos, ou não, e com espaçamentos entre si de dimensões generosas (a partir de cerca de dois metros). Pode efectuar-se uma distinção entre porticados com uma hierarquia clara de pórticos paralelos e os porticados em que essa hierarquia não existe. Pode ainda efectuar-se uma segunda distinção quanto ao grau de elaboração dos processos. Assim, um porticado será básico se os elementos da estrutura forem toscos e não regularizados e as ligações forem efectuadas com base em processos expeditos como ligações improvisadas (atadas, pousadas, etc.). O porticado será do tipo elaborado quando os elementos da estrutura forem regulares e as ligações efectuadas com processos que asseguram maior estabilidade e durabilidade, podendo integrar elementos estruturais derivados de madeira como os lamelados e ligações com elementos metálicos.

Os **porticados básicos** terão sido abrigos mais duráveis que os reticulados leves básicos, uma vez que integravam componentes de madeira de maior secção. Este sistema pressupõe a disponibilidade de madeira de melhor qualidade, necessitando de outros materiais para a função de fechamento e isolamento térmico. O processo de montagem e obtenção da matéria-prima é mais exigente em mão de obra que o dos reticulados básicos. Alguns dos exemplos de abrigos primitivos actuais registados pelos antropólogos incluem formas diversas deste tipo, embora por vezes a fronteira entre porticado e reticulado seja difícil de estabelecer.

Os **porticados elaborados** corresponderão tanto às soluções desenvolvidas no sudeste asiático, China e Japão (recorrendo a juntas mais complexas), bem como aos porticados em ogiva característicos do Reino Unido (cf. Figuras 36 e 37) e também aos porticados desenvolvidos pelos primeiros colonos ingleses na América do Norte em resposta às condicionantes locais. Os porticados elaborados contemplam também a utilização de elementos verticais e horizontais de derivados de madeira cujas ligações são efectuadas através de encaixes mais complexos ou ligadores metálicos e parafusos.

#### Porticados básicos - Exemplos

Os porticados são estruturas que surgem naturalmente em situações em que se reúnem condicionantes específicas que permitem e exigem elementos lineares de maiores secções. Alguns dos porticados mais antigos terão surgido da necessidade de estabelecer plataformas de habitação em regiões costeiras, lacustres ou com terrenos pantanosos, recorrendo-se a estacas cravadas no solo que são aproveitadas como fundação e /ou simultaneamente como pilares. Os porticados surgem ainda em regiões onde a ventilação e a protecção da humidade são exigências de conforto fundamentais. Podem no entanto ser a consequência lógica de uma maior competência técnica e da correspondente melhoria da qualidade dos reticulados

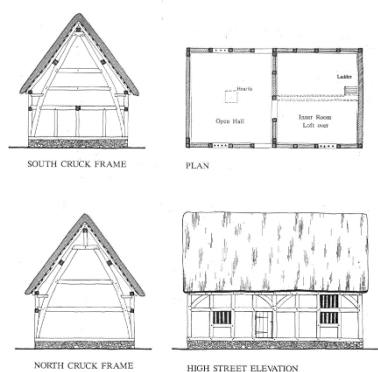


Fig. 36 - Cortes, alçado e planta de porticado elaborado ogival (cruck frame) - Hungerford, Inglaterra (1449) ([http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town\\_Walks/town\\_walks.html](http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town_Walks/town_walks.html)).

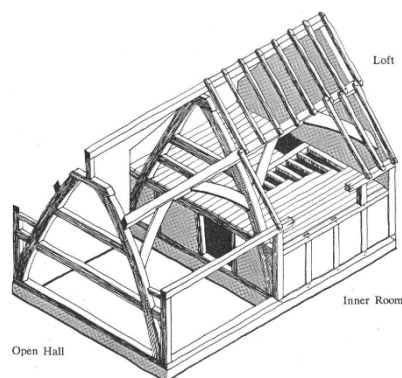


Fig. 37 - Perspectiva de porticado elaborado ogival ([http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town\\_Walks/town\\_walks.html](http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town_Walks/town_walks.html)).

básicos que num certo nível de desenvolvimento já não responderiam às necessidades dos povos sedentarizados e mais estabilizados. Assim, os vários povoados pré-históricos e neolíticos ou as aldeias piscatórias um pouco por todos os continentes, bem como a tradição do extremo oriente oferecem exemplares de diversas soluções de habitação recorrendo a estruturas porticadas.

Cerca de 1.000 locais com habitações chamadas “palafíticas” foram já identificados na região Alpina<sup>20</sup>, localizados normalmente nas margens dos lagos ou em zonas de pântanos (cf. Figuras 34 e 35). Por volta de 4.300 AC, populações com conhecimentos da agricultura e pecuária, descendentes dos povos provenientes do oriente que se tinham fixado nas margens do Mediterrâneo começaram a construir estruturas de madeira. Nesta região é possível observar o desenvolvimento de várias formas de porticados. Um tipo comum é aquele em que os pilares da superestrutura são formados pela continuidade das estacas cravadas no solo. Outro tipo, provavelmente motivado pela instalação em solos mais rígidos, ou por um desejo de maior durabilidade, surge com uma fundação (uma base) independente para cada pilar e em certos casos com uma viga de fundação em madeira (numa solução menos durável). A partir da idade do bronze, nesta zona encontraram-se já construções em toros e juntas de ligação mais evoluídas, do tipo mecha e respiga (Suter & Schlichterle, 2009).

#### Porticados elaborados - Exemplos

Os porticados elaborados surgem associados a juntas de macho-fêmea e terão sido desenvolvidos, segundo Wing (2009) entre 200 AC e 500 AC, tendo a estrutura global autoportante sido apurada cerca de 900 DC. Este sistema exige já um maior nível de conhecimento especializado, dependendo a integridade do sistema da execução das juntas. Pressupõe uma metodologia de produção que consiste em cortar os componentes numerá-los e montá-los preferencialmente num espaço de tempo muito curto (Wing, 2009). A tecnologia da construção em toros era muito menos trabalhosa que a dos porticados uma vez que a criação de uma estrutura rígida a partir de ligações macho-fêmea é muito mais exigente (Benson, 1977). No entanto os toros condicionavam as dimensões das casas ao tamanho dos toros e exigiam mais madeira.

Em Inglaterra surge um tipo singular de estruturas porticadas com uma forma ogival (cf. Figuras 36 e 37) que terá resultado da evolução dos porticados básicos. O processo de construção dos porticados em ogiva (*cruck frame*) consiste em montar os pórticos ogivais no solo sendo depois erguidos um a um de modo a ser montada a fileira (*ridge purlin*), as madres

<sup>20</sup> Surgem na Suíça, Alemanha, Áustria, Eslovénia, Itália e França

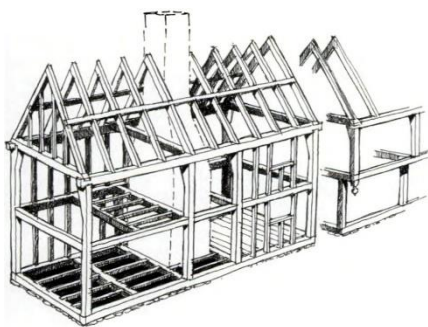


Fig. 38 - Sistema porticado das casas tipo "Cape Cod Cottages" com o fogão e a chaminé central em alvenaria (Foster, 2004).

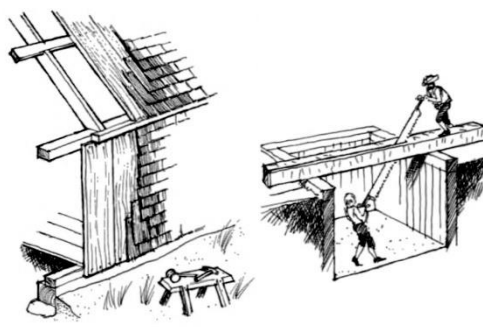


Fig. 39 - Sistema de revestimento com *shingles* sobre pranchas utilizado em algumas casas de Cape Cod e processo de serragem de pranchas com recurso a um fosso (Foster, 2004).

(*side purlin*) e as travessas de topo das paredes (*wall plate*), de modo a consolidar os pórticos num todo resistente (Brunskill, 2000, p. 54). No universo das estruturas porticadas em ogiva encontram-se variantes como o "*base cruck*" e o "*jointed cruck*". As estruturas porticadas em ogiva e as suas variações encontram-se principalmente na Inglaterra central e do norte e na maior parte do País de Gales (Brunskill, 2000, p. 56). Anteriormente considerou-se que estas estruturas teriam surgido apenas na Idade Média, no entanto a sua construção estendeu-se praticamente até ao século XX. Os vestígios destas estruturas antes de 1200 são raros, surgindo para além do Reino Unido, em algumas regiões de França, Irlanda do Norte e Escandinávia (May, 2010a).

Os porticados tipo "*timber-frame*" característicos da América do Norte (cf. Figura 38) e resultantes de um processo de adaptação às condições locais encontraram na Nova Inglaterra um pólo de difusão que abrangeu grande parte do território Norte Americano. Estes porticados caracterizam-se pela utilização de elementos de madeira de secção quadrada com ligações de encaixe e por vezes escoras entre pilares e vigas. Sobre as fundações, em todo o perímetro, existia normalmente uma viga de soleira, nos cantos da qual se ligavam os pilares através de encaixes do tipo mecha e respiga, adicionando-se depois pilares e vigas intermédias. As ligações entre elementos eram consolidados com cunhas ou cavilhas de Carvalho (os pregos eram difíceis de obter). As paredes eram realizadas com elementos estruturais secundários, ou postes ligados às vigas de pavimento e de topo. Entre os elementos verticais preenchiam-se os vazios com painéis de uma argamassa estruturada: a já referida "*wattle-and-daub*". Esses painéis que em Inglaterra eram deixados à vista, na Nova Inglaterra passaram a ser cobertos com perfis horizontais de madeira ou com pranchas verticais sobre as quais, em certos casos, se pregavam os soletos (ou "escamas") de madeira, designados por "*shingles*" (cf. Figura 39). A estrutura da cobertura era realizada com vigas comuns, estabilizadas com madres, sobre as quais se colocava inicialmente colmo e mais tarde soletos de madeira sobre pranchas (Foster, 2004).

#### 1.1.2.3 ESTRUTURAS DE PAREDES

As estruturas de paredes são aquelas em que os componentes verticais definidores do perímetro edificado são constituídos por elementos do tipo linear ou do tipo bloco, dispostos em geral na horizontal, formando superfícies maciças ou pelo menos contínuas. Pode ainda efectuar-se uma segunda subdivisão tendo em conta a secção e o peso dos componentes da estrutura. Assim, uma parede leve será aquela em que os componentes da estrutura têm reduzida secção e uma parede pesada será aquela em que os elementos da estrutura terão secções mais generosas. Pode ainda efectuar-se uma outra distinção quanto ao grau de elaboração dos processos. Uma parede será básica se os elementos da estrutura forem toscos (não regularizados) e as ligações forem efectuadas com base em processos expeditos



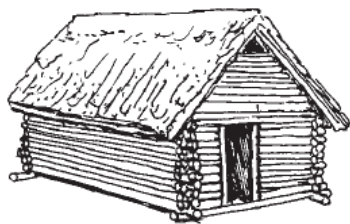


Fig. 40 - Estruturas de paredes básicas com toros nos Alpes. Idade do bronze (Suter & Schlichterle, 2009).

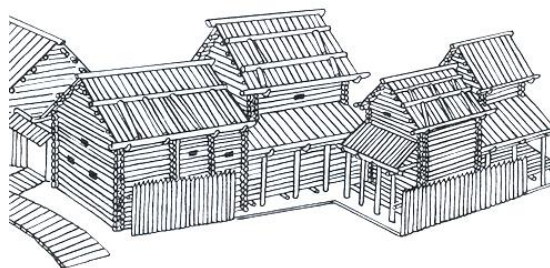


Fig. 41 - Habitações rurais em Novgorod, séc XII (<http://slavyanskaya-kultura.ru/art/ruskoe-zodchestvo/tradicionnye-tipy-domov-na-rusi.html>).

e ligações improvisadas (cf. Figura 40). A parede será do tipo elaborada quando os elementos da estrutura forem regulares e as ligações efectuadas com processos que asseguram maior estabilidade e durabilidade, podendo incluir componentes da estrutura de derivados de madeira e ligações metálicas.

As **paredes pesadas básicas** correspondem aos sistemas de construção em toros com um nível mínimo de transformação dos componentes e ligações pouco consistentes, surgindo não só com a solução de troncos horizontais, mas também com os troncos na vertical, cravados no solo. Este sistema terá surgido principalmente nas regiões da Europa do Norte, do Leste e nos Alpes. As **paredes pesadas elaboradas** correspondem aos sistemas de construção em toros horizontais desenvolvidos principalmente nas regiões mencionadas, mas já com um nível de transformação do tronco (esquadriado) e com a adição de detalhes de execução de maior qualidade promovendo a estanquidade e durabilidade da construção.

As **paredes leves básicas**, são constituídas por pranchas dispostas na horizontal encaixadas em montantes ou pranchas verticais encaixadas em vigas ou travessas, formando paredes portantes. Este sistema surge em certos casos como evolução e alternativa aos toros horizontais. Corresponderá a um sistema mais ligeiro e económico que a construção de paredes pesadas. As **paredes leves elaboradas** correspondem a uma evolução do sistema anterior, integrando componentes mais transformados e normalizados.

#### Paredes pesadas básicas - Exemplos

A construção em toros verticais compactos do tipo paliçada (cf. Figura 42), apesar de referida em algumas tradições (Sigurðardóttir, 2012; Clayton, 1990), não é um tipo de construção que tenha deixado um legado muito consistente nas soluções de habitação permanente. Os toros cravados no solo<sup>21</sup> levantam sem dúvida problemas de durabilidade, sendo difícil do ponto de vista da estabilidade a concretização de soluções alternativas com a base dos toros ancorada ao nível com o pavimento. Já na solução dos toros horizontais esses problemas não se levantam. As paredes pesadas básicas com toros ou as paredes leves com pranchas e montantes terão sido possivelmente os estágios intermédios da evolução da construção em madeira depois das fases iniciais de desenvolvimento associadas aos reticulados leves básicos (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008). Clayton (1990, p. 65) refere mesmo que o sistema de toros verticais (*tilt*) encontrado em Newfoundland no Canadá (cf. Figura 43) terá evoluído para um sistema de pranchas verticais. Este tipo estrutural de toros cravados no solo reporta-se às paliçadas defensivas da antiguidade, que terão influenciado pontualmente as estruturas habitacionais.

A solução de toros verticais surge documentada no processo de colonização de algumas regiões do Canadá. Teria sido uma solução inicialmente tentada pelos colonos franceses,

<sup>21</sup> Os toros verticais fixados no solo eram provavelmente solidarizados no topo através de barrotes colocados na horizontal com entalhes de macho-fêmea.

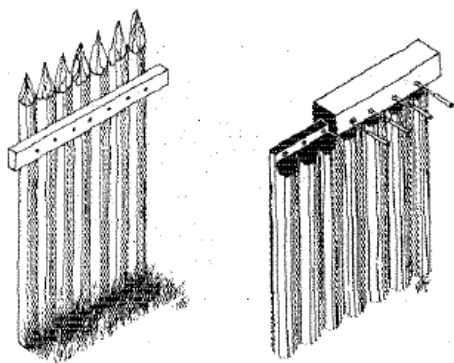


Fig. 42 - Sistema militar da paliçada e sistema doméstico de toros verticais com viga de topo (Clayton, 1990).

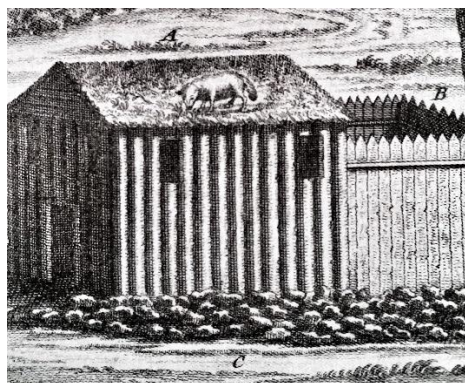


Fig. 43 - Sistema de paredes pesadas de toros verticais em Placentia, Newfoundland (1722) (Kalman, 1995).

num sistema chamado “*pieux en terre*”, mas terá resultado também de uma tentativa pontual de alguns colonos confrontados com condições de escassez de meios. Kalman cita os escritos de uma família de colonos em Alberta - Canadá que terá decidido construir uma casa com toros verticais porque não tinham meios financeiros para uma casa de toros horizontais. A escolha do sistema terá resultado mais de uma elaboração racional circunstancial do que de quaisquer influências culturais ou conhecimento anterior:

*“I do not know of another house of this vertical-pole-and-mud construction”, “The walls are of upright poles, most of them six or eight inches in diameter. These poles are set in double row in a trench two feet deep, and the space between the poles is filled with clay”* (Kalman, *A History of Canadian Architecture - Volume 2*, 1994, p. 503).

Esta solução no entanto não terá vingado porque, como concluíram os próprios colonos:

*“The intense cold has opened up many small cracks in the walls and they let in much cold air”* (Kalman, *A History of Canadian Architecture - Volume 2*, 1994, p. 503).

Este sistema deixou no entanto uma marca nos territórios de Newfoundland e Labrador onde os pescadores construíam abrigos temporários recorrendo a toros brutos (de Espruce) com casca, dispostos na vertical e com as juntas preenchidas com musgo, num sistema que foi conhecido por “*tilt*”. Posteriormente, já no século XIX, terá sido adaptado para habitação permanente ou de Inverno, tendo continuado a ser utilizado no século XX como abrigo de Verão para pescadores ou lenhadores. Para além do Canadá o sistema terá também sido ocasionalmente experimentado pelos colonos da Nova Inglaterra (“*palisado*” ou “*palisade system*”), com um reforço de caniços e ramos entre os postes e coberto com argila (Kalman, 1995, pp. 89, 90). Pryce (2005, p. 22) diz que este método foi também adoptado na Austrália, no século XIX, tendo sido depois substituído pelos sistemas reticulados.

A utilização de construções com toros maciços dispostos na horizontal, segundo alguns autores (Benedetti & Bacigalupi, 1988), reporta-se à Pré-História, à Idade do Ferro (Provost, 2010), ou à Idade do Bronze (Suter & Schlichterle, 2009) (Weslager, 1969). Segundo Weslager, apesar de vestígios de casas de toros datados da Idade do Bronze terem sido encontrados em vários locais do sul da Alemanha, estas terão apenas começado a ser construídas sistematicamente pelas tribos germânicas depois da sua sedentarização, tornando-se comuns nos aglomerados agrícolas da Idade Média. Na Escandinávia, a construção em toros estará relacionada com a era dos Vikings (800 DC - 1000 DC), representando uma evolução dos abrigos de turfa dos Lapões (Weslager, 1969, p. 87).

Na Europa de Leste há evidências arqueológicas da construção em toros horizontais desde 747 AC nas colónias pré-Eslavas da Idade do Ferro do lago Biskupin (cf. Anexos) perto de Poznan na Polónia (embora com uma solução variante, utilizando uma estrutura adicional de pilares e vigas). Algumas teorias consideram que o sistema de paredes de toros horizontais



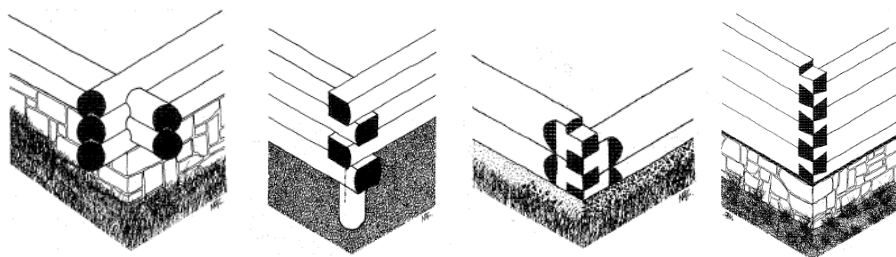


Fig. 44 - Formas de ligação nos cantos: meia cana, sobreposição simples, espiga, e cauda de andorinha (Clayton, 1990).

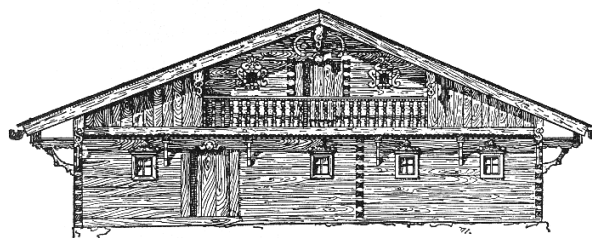
se difundiu da Rússia para a Escandinávia e para a Europa Central, mas outras referem o contrário (Weslager, 1969, p. 87). Na Rússia, as descobertas arqueológicas da cidade medieval de Novgorod (sécs. X-XV) revelaram uma cidade em que 98% dos edifícios eram construídos em toros redondos de Pinho. Outras cidades como Tsaritin (posteriormente com o nome alterado para Estalinegrado e depois Volgograd) no século XVII ainda eram construídas completamente em madeira (Pryce, 2005, p. 146). Para além da Europa de Leste, também na Europa Central, na região dos Alpes terão surgido focos deste tipo de construções a partir da Idade do Bronze (Suter & Schlichterle, 2009).

A construção em paredes pesadas formalizada por planos maciços portantes de madeira é ainda hoje adoptada em edifícios contemporâneos em zonas como a América do Norte, Europa do Norte e Central, Escandinávia, Alpes e Balcãs. Normalmente é utilizada para edifícios de reduzida dimensão, consumindo consideráveis quantidades de madeira, sendo por esse motivo utilizada predominantemente em regiões onde esta se apresenta como um recurso abundante e economicamente vantajoso. É um sistema que demonstrou ser adequado a climas muito frios pelo facto de a parede poder potencialmente assegurar simultaneamente a segurança estrutural, a estanquidade e o isolamento térmico. Do ponto de vista estrutural, pode-se referir que não é a utilização aparentemente mais racional do material porque a madeira é submetida a esforços de compressão na direcção perpendicular às fibras (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

O emprego mais básico do sistema consistia em empilhar simplesmente os toros, muitas vezes sem os descascar e sem ligações consistentes nos cantos. A distinção entre paredes pesadas de toros básicas e elaboradas corresponde à que é feita por Savage e Lee (1984) na distinção entre *log cabin* (básica) e *log house* (elaborada). Os problemas da estanquidade, da estabilidade e do risco de incêndio<sup>22</sup> da *log house* (cf. Figura 45) terão conduzido ao seu aperfeiçoamento ou à adopção de medidas complementares de protecção. Nos Cárpatos, na Ucrânia e na Roménia, por exemplo, as juntas entre os troncos são revestidas de argamassa em alguns planos ou em toda a fachada. Quando se utiliza o reboco, as paredes interiores são normalmente também revestidas sendo difícil perceber em muitos casos que se está perante uma casa de madeira maciça (Provost, 2010).

Pode-se ainda referir um tipo ainda mais singular de paredes pesadas, o “*stovewood construction*”, que será uma forma de alvenaria de “blocos” de madeira surgida, segundo Richie (1979), na América do Norte no início do século XIX. Segundo Clayton (1990, p. 66) este sistema designa-se “*stackwall construction*” e terá sido utilizado primeiro na Europa, chegando ao Canadá apenas no século XX (cf. Figura 48). Existirão diversas variantes do sistema, mas uma delas consiste em construir os cantos com peças de secção quadrada (com cerca de 20cmx20cm) e os restantes planos das paredes em módulos de troncos com

<sup>22</sup> Segundo Butterfield (1984, p. 23) na colonização do Canadá os toros eram muitas vezes utilizados com a casca, mas esta era uma solução que demonstrou ser deficiente pela difícil selagem das juntas e pelo risco de incêndio associado.



Upper storey of the Edhofer house, Bränning, Rupertwinkel, 168.

Fig. 45 - Piso superior de uma casa em toros Alpina do século XVII (Alemanha) (Hansen, 1971).

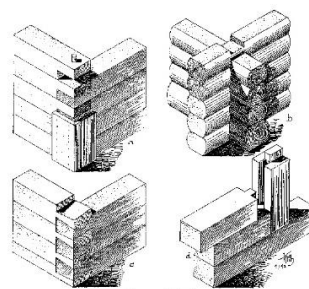


Fig. 46 - Blockhaus

Fig. 46 - Ligações de canto e ombreira (<http://www.payer.de/tropenarchitektur/troparch046.htm>).

cerca de 17,5cm de diâmetro e comprimentos de 60cm a 1 metro (Clayton, 1990, p. 57). Este é um sistema onde a lógica da durabilidade também não parece ser um dos pontos fortes (devido à exposição dos topos dos toros e ao comportamento diferencial da argamassa e da madeira, e à deficiente estanquidade), sendo por esse motivo um sistema mais raro. A sua utilização justifica-se por utilizar uma matéria-prima fácil de obter (resíduos de construção) mas de baixa qualidade (toros de reduzida secção e comprimento) e por ser de fácil execução (Clayton, 1990, p. 67).

### Paredes pesadas elaboradas - Exemplos

A evolução da técnica dos troncos sobrepostos irá ser aperfeiçoada em regiões onde as florestas de coníferas abundavam, fornecendo troncos alinhados e de grandes secções como na Escandinávia, na Europa de Leste e nas regiões montanhosas da Europa Ocidental e Central. Nessas regiões o sistema de construção aperfeiçoou-se adquirindo características singulares próprias de cada cultura. Embora se possa considerar que há dois ramos de evolução diferenciados da construção em toros: o dos toros cilíndricos e o dos toros esquadriados, também se pode afirmar que a segunda técnica constitui um avanço porque se a primeira implicava o uso do machado, a segunda exigia a utilização de uma ferramenta mais avançada, a serra<sup>23</sup> (utilizando o poço de serração manual ou a serra mecânica) que proporcionava componentes de geometria mais regular. Em princípio, o toro esquadriado poderia oferecer uma maior garantia de estanquidade, principalmente se as serragens fossem precisas. A distinção nos conceitos de “log house” e “block house”, referem-se na América do Norte à diferença entre a técnica dos toros redondos e a técnica dos toros esquadriados (Shurtleff, 1967).

A evolução do sistema básico para as variantes elaboradas terá sido motivada pela melhoria dos seguintes aspectos: a ligação ao solo; a ligação entre toros consecutivos; a regularização da secção do toro; e as ligações dos toros na intersecção de paredes. A ligação entre toros consecutivos, evolui do simples entalhe na base ou topo do toro, para o duplo entalhe (no topo e na base, concavo ou em “v”), culminando em soluções simples de ligação macho-fêmea, até ligações com cunhas a reforçar o encaixe entre toros consecutivos (Phleps, 1982, pp. 60-67). Em qualquer caso, normalmente previa-se um material de preenchimento para complementar a selagem (estopa, musgo, cordões de cânhamo, ou lã na Noruega). A ligação dos toros na intersecção das paredes terá evoluído do sistema mais simples, da ligação com o entalhe realizado em “meia sela” no topo ou na base do toro<sup>24</sup>, para o duplo entalhe numa procura de obter uma junta mais rígida e mais estanque. No entanto a ligação simples nos toros esquadriados introduzia uma fragilidade que consistia na tendência que as

<sup>23</sup> A construção dos toros de secção rectangular ou facetada começou por aparecer no século XIV quando se desenvolveram as serras activadas pela força motriz da água (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 23).

<sup>24</sup> Preferencialmente na base do toro para garantir uma maior durabilidade (Pryce, 2005, p. 20).

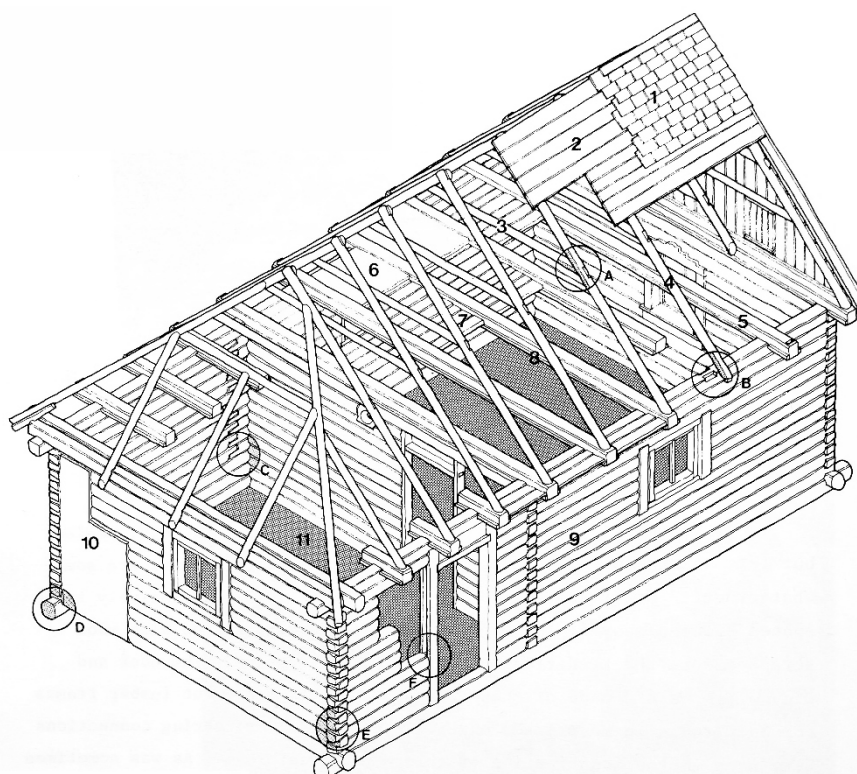


Fig. 47 - Casa Babiak no Sul de Manitoba - Canadá, construída por colonos Ucrrianos. 1) Shingles de madeira; 2) Tabuado de revestimento base de 25mm de espessura; 3) Vigotas de travamento 75 a 100mm de diâmetro; 4) Vigas de cobertura 100 a 125mm de diâmetro; 5) Vigas de tecto 125x150mm; 6) Isolamento 100mm de espessura; 7) Revestimento de tecto 50x100mm a 150mm; 8) Perfis de apoio do isolamento 50mm; 9) Paredes 125 a 200mm de espessura; 10) Argamassa de argila no interior e no exterior; 11) Pavimento de terra sobre tabuado de 50mm de espessura (Ledohowski & Butterfield, 1983).

extremidades tinham para torcer à medida que a madeira retraía, abrindo-se espaços entre as juntas. Ensaaiaram-se então juntas mais complexas com rebaixos que deveriam bloquear as juntas em caso de movimento. Uma medida adicional para tornar o nó mais rígido consistia em introduzir cavilhas nas ligações (cf. Figura 46).

Muitas das soluções tornaram-se tão complexas que só podem ser justificadas pelo orgulho dos carpinteiros em obter soluções dotadas de qualidades artísticas. Num estágio mais evoluído, os toros salientes perdem a sua importância já que são eliminados em favor de juntas a meia madeira e em cauda de andorinha. Estas técnicas associavam-se aos toros esquadriados (só pontualmente aos toros redondos) e pareciam querer dotar a madeira de um carácter mais próximo da alvenaria. Este tipo de juntas facilitava a aplicação, em algumas regiões, de revestimentos exteriores (cf. Figura 47).

Quando as faces das juntas eram horizontais, como acontece nas ligações do tipo “meia madeira”, utilizavam-se cavilhas como meio adicional de ligação, mas para além da dificuldade de execução, o risco de corte da cavilha era grande. Provavelmente a ligação mais avançada seria a do tipo cauda de andorinha que no entanto não estava imune à abertura de juntas entre as faces das ligações. Para evitar este problema desenvolveram-se variantes com a introdução de juntas adicionais (como se de uma segunda barreira de protecção se tratasse). Em algumas regiões (Prússia Oriental por exemplo), utilizaram-se como meio de reforço e protecção, perfis adicionais de revestimento de canto. Este dispositivo que só deve ser pregado depois do edifício assentar completamente vem mitigar a

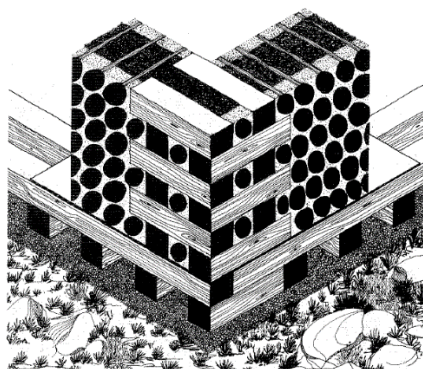


Fig. 48 - Sistema "stackwall" ou "stovewood" (Clayton, 1990).

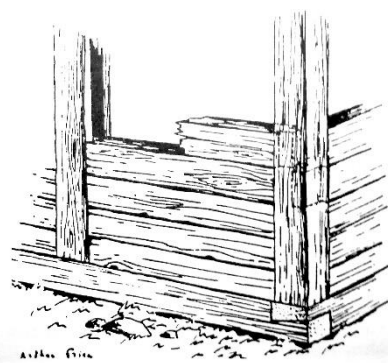


Fig. 49 - Paredes pesadas tipo "Red River" ou "Poteaux en coulisse" (Kalman, 1995).

fragilidade dos topos dos toros<sup>25</sup> que expõem as fibras em secção transversal (muito susceptíveis à absorção de água), num ponto onde muitas vezes se iniciava o processo de degradação (Phleps, 1982, pp. 60-67).

Kolb (2008, p. 50) refere que a tradição da construção com toros maciços permanece ainda hoje em regiões montanhosas da Suíça como Bernese Overland, Valais, Fribourg Alps e Grisons na Suíça, Alpes Bávaros na Alemanha e nas regiões montanhosas da Áustria, onde o conhecimento foi transmitido através de gerações de carpinteiros. Este autor refere ainda que se assiste actualmente a um desenvolvimento, protagonizado por Arquitectos, que tem conduzido a novos entendimentos inovadores da tradição (Kolb, 2008, p. 52).

Este sistema foi transportado para a América do Norte por diferentes grupos de colonos europeus: os Suecos que se instalaram na foz do rio Delaware em 1638 e depois os Germânicos que escolheram a Pensilvânia em 1710. Terá depois sido apropriado pelos colonos Escoceses e Irlandeses e mais tarde pelos colonos Ingleses (que originalmente só utilizavam o designado "*blockhouse*" em construções militares) tornando-se a habitação das novas "fronteiras", como refere Shurtleff (1967) em "The log cabin myth". Kalman (1995, p. 160) considera no entanto ser possível ter havido processos de invenção independentes de construções com toros, nomeadamente no caso dos Franceses no Canadá.

O sistema disseminou-se pela América do Norte, mas as suas fragilidades rapidamente ficaram patentes. Um dos problemas das casas de toros era a estanquidade das juntas, o que conduziu a que normalmente entre os toros se colocassem camadas de preenchimento com diversos materiais, incluindo as argamassas. O vento, conjugado com temperaturas exteriores que chegam com frequência aos 20°C negativos introduzia-se com facilidade entre os pequenos orifícios. Assim, para além da vedação das juntas, por vezes revestiam-se as casas de toros com perfis adicionais de madeira. Agravando o problema da estanquidade, o problema da retracção dos toros, devido à secagem da madeira e à sujeição às cargas perpendiculares às fibras, conduz normalmente a um assentamento que pode ser de cerca de 1,2cm por cada 25cm (Clayton, 1990, pp. 59, 60). A solução limite consistia em rebocar completamente as paredes, como o faziam os colonos Ucrânicos no sul de Manitoba, no Canadá, importando as práticas das suas regiões de proveniência (cf. Figura 47).

As paredes de troncos verticais, devido às limitações já referidas anteriormente, não terão chegado a evoluir para sistemas elaborados eficazes na habitação, embora o tenham sido em fortificações e em igrejas (o melhor exemplo é das igrejas *stave* norueguesas). No Canadá, os

<sup>25</sup> A solução dos toros salientes seria em princípio mais durável (se considerada isoladamente) porque se formaria assim uma saliência sacrificial (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

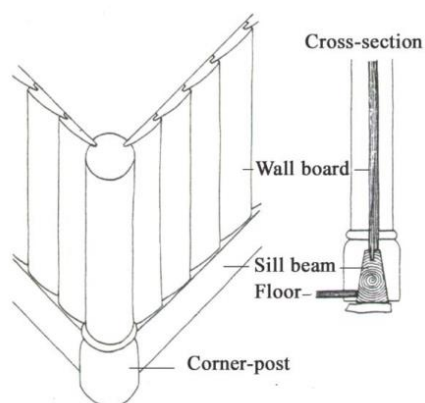


Fig. 50 - Sistema de paredes leves - *Stave* (Sigurðardóttir, 2012).

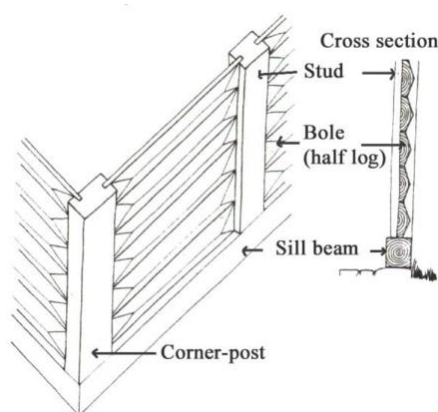


Fig. 51 - Sistema de paredes leves - *Bolverk* (Sigurðardóttir, 2012).

colonos da Nova França adoptaram um sistema de toros esquadriados verticais, encaixados sobre um frechal como forma de melhorar o sistema de reticulados verticais que não respondiam às exigências do clima local em termos de isolamento térmico e de durabilidade. Como evolução deste sistema, terá surgido no século XVII uma alternativa, que se generalizou no século XVIII, sob o nome de "*Pièce sur Pièce*" (cf. Figura 49). Este sistema terá recebido as influências não só da construção com toros, mas também da construção de reticulados pesados. Consistia na montagem sucessiva de toros esquadriados intercalados com postes verticais. Era por sua vez um sistema com duas variantes, a mais comum era designada "*pièce sur pièce en coulisse*" e contemplava postes de canto, sendo a outra, "*pièce sur pièce en queue d'aronde*" contemplando juntas em cauda de andorinha nas ligações dos cantos da construção (Hébert, 2007).

### Paredes leves básicas - Exemplos

As paredes leves básicas são estruturas portantes em que os toros maciços são substituídos por pranchas dispostas na horizontal ou na vertical. É um sistema em que por vezes a fronteira entre o sistema porticado e o sistema de paredes pesadas é muito ténue. Designado como "*post and plank*" em Inglês, a "*ritti e panconi*" em Italiano, "*bulhus*" na Dinamarca e "*bohlenwand*" na Alemanha. Alguns autores consideram-no uma evolução dos reticulados leves básicos e um antecessor dos reticulados pesados (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008) ou do sistema de estacas (Sigurðardóttir, 2012), embora pareça ser inequivocamente uma evolução do sistema de toros. Este sistema descrito por alguns autores como "*post and plank*", "*corner post*", ou nos países nórdicos como "a verdadeira construção *stave*", encontrou-se em várias regiões, como no Alpes, nas habitações da Idade do Bronze (Milisauskas, 2002) ou nas ilhas Faroé complementado com pedra e trufa (Schjelderup & Storsletten, 1999). Nos países nórdicos terá surgido como uma versão ligeira da construção com toros, onde a partir do século XI, aparece como um desenvolvimento das soluções de estacas cravadas no solo. Designa-se por *stave* quando as pranchas são verticais (cf. Figura 50) e *bolverk* quando as pranchas são horizontais (cf. Figura 51). No primeiro caso, a estrutura de pilares e vigas de pavimento é conjugada com um sistema de pranchas verticais ligadas por encaixes (Sigurðardóttir, 2012). Na Suécia as paredes leves de pranchas e montantes (*skiftesverk*) aplicavam-se principalmente em edifícios pequenos e de carácter utilitário e surgiam normalmente em zonas onde predominavam as espécies de folhosas<sup>26</sup> (Högman, 2014).

<sup>26</sup> O sistema surgia também segundo Bell S. (2012) em zonas de florestas de madeira de Pinho, mais a norte.

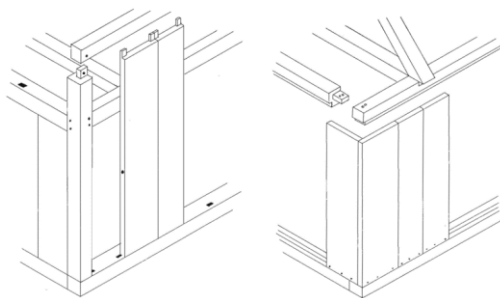


Fig. 52 - Duas variantes de paredes leves de pranchas verticais e montantes no Vermont (USA) (Lewandoski, 1985).

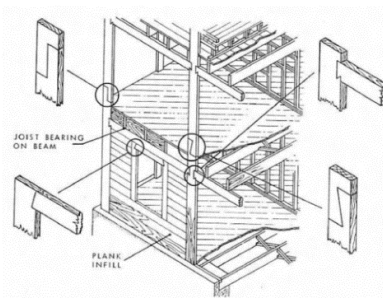


Fig. 53 - Construção de paredes leves de pranchas horizontais e montantes, no Canadá (Richie, 1979).

### Paredes leves elaboradas - Exemplos

Na América do Norte, os porticados que evoluíram dos reticulados pesados provenientes da Europa, deram origem a outros sistemas construtivos como o “*plank frame*” que se popularizou entre 1790 e 1830. A sua classificação é difícil, podendo ser considerado como uma variante dos porticados ou como um tipo de paredes leves elaboradas (Figura 39). O “*plank frame*” era constituído por uma estrutura de base de componentes em pranchas de espessuras entre 1-1/2” a 4” (mas normalmente com 2”) e com largura variável entre (9” e 26”), montadas verticalmente e encaixadas entre o componente de soleira ou frechal e o contrafrechal. Com pranchas mais espessas, as ligações verticais entre elas poderiam ser de encaixe do tipo macho-fêmea. A grande largura das pranchas e a sua espessura desempenham um papel importante no travamento da construção, não havendo necessidade assim de recorrer a montantes intermédios. Não obstante, normalmente existiam escoras nos pilares de canto. Estas pranchas que eram pregadas pelo exterior ou encaixadas em ranhuras no frechal, poderiam desempenhar a função de revestimento final mas normalmente constituíam a base para um revestimento adicional tanto no interior como no exterior. Algumas formas desenvolvidas deste sistema na Nova Inglaterra eliminavam completamente os montantes e as escoras. Este sistema surgia nas habitações de um piso ou de um piso e meio (com sótão), com geometrias simples e ocasionalmente com dois pisos. No final do século XIX, a lógica deste sistema terá sido conjugada com as lógicas dos *sistemas balloon-frame* e *timber-frame* e terá caído em desuso. As variantes do sistema detectadas em Vermont (cf. Figura 52), por exemplo, contemplavam: pranchas e postes ligadas entre o frechal e o contrafrechal; pranchas sem postes ligadas entre o frechal e o contrafrechal; e pranchas sem postes ligadas ao exterior do frechal e do contrafrechal (Lewandoski, 1985). Para além deste sistema principal, segundo Rempel (1972), haveriam duas variantes, sendo a primeira um derivado da construção em toros, já que consiste na divisão destes em componentes de cerca de 6” de espessura, fazendo-se a ligação nos cantos da mesma forma que com os toros. A segunda variante consistia na sobreposição de “pranchas” de 2”x6” ou de 2”x8”, constituindo no final como que um painel lamelado maciço. Rempel (1972, pp. 96, 97) refere que este sistema era dispendioso e pouco utilizado, necessitando também de um bom sistema adicional de contraventamento.

No século XIX na zona de Ottawa, no Canadá, assistiu-se ao desaparecimento da construção em paredes de troncos e à generalização da construção em reticulados leves e porticados “*timber-frame*”. Mas a partir do sistema das paredes de toros terão derivado dois sistemas mais ligeiros utilizando pranchas de madeira maciças. Um dos sistemas contemplava o uso de pranchas dispostas na horizontal, com espessuras de 2” ou 3”, normalmente com encaixes macho-fêmea e revestidas no exterior e no interior. O outro sistema, provavelmente surgido em Montreal e referido nos textos como “*un système de pans à charpente pleine*” (cf.



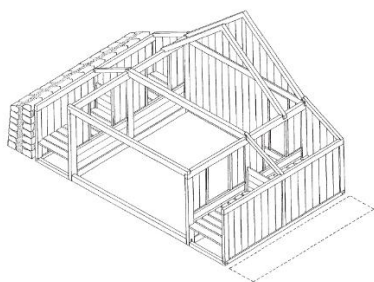


Fig. 54 - Casa tradicional das Ilhas Faroé - Paredes leves com vigas de base e topo ligadas a pilares de canto com paredes exteriores de pedra e turfa (Schjelderup & Storsletten, 1999).

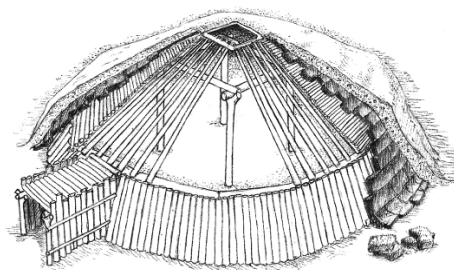


Fig. 55 - Abrigo de nativos americanos em madeira, utilizando sistemas e materiais diversos: Porticados e paredes pesadas de toros verticais de madeira, vegetação da pradaria e terra como acabamento final (Horning, 2009).

Figura 53) derivaria do sistema “*en coulisse*” de toros maciços, com pranchas verticais (no lugar dos postes do sistema anterior) e com pranchas horizontais) de preenchimento com a mesma espessura (cerca de 3”), encaixadas nas ranhuras das pranchas verticais (pilares). Estas pranchas normalmente eram também revestidas com perfis e acabamento (Richie, 1979), ocultando assim o sistema construtivo.

#### 1.1.2.4 SISTEMAS HÍBRIDOS

A tentativa de classificar os sistemas de construção tem limitações inerentes a um instrumento teórico que visa simplificar uma realidade complexa. Assim, o confronto com os casos concretos apresenta dificuldades em classificar claramente algumas estruturas. Um primeiro problema surge na inclusão ou exclusão de alguns exemplos no universo da “construção em madeira”. O segundo problema consiste em identificar o sistema construtivo em situações que não se apresentam claramente como sendo de um só tipo. Nos casos de dúvida inultrapassável no processo de classificação, a única solução será assumir que se está perante um “sistema híbrido” (cf. Figuras 54 e 55).

Em princípio, qualquer estrutura incorpora diversos materiais. Para efeitos deste estudo, o conceito de construção integral em madeira tem em consideração que pelo menos as fundações e os revestimentos podem integrar outro tipo de materiais como a pedra, a terra e outros elementos vegetais que não a madeira. Aceita-se igualmente a presença de elementos metálicos que desempenham funções estruturais secundárias ou complementares (pregos, parafusos, ligadores, vigas pontuais, etc.). No entanto, há evidentemente outro tipo de construções nas quais apesar de a madeira assumir um papel importante, a função estrutural principal é assegurada por outros materiais. Neste trabalho, optou-se por excluir os casos híbridos, não porque não tenham interesse, mas porque há necessidade de limitar um objecto de estudo que já é por natureza muito amplo.

#### 1.1.3 CONDICIONANTES DA FORMA

No processo de construção de um abrigo temporário ou uma habitação permanente, a escolha das formas, das estruturas e dos materiais pressupõe um conjunto de motivações que posteriormente ajudam a explicar a realidade construída. A escolha da madeira em detrimento de outros materiais, a opção por um sistema construtivo e a eleição e concepção de determinados detalhes, mais complexos ou mais simples, são processos cuja lógica permite compreender melhor o potencial de cada tipo estrutural.

Steele (2009a, p. xi) considera que a análise transversal da habitação pressupõe normalmente a adopção de um modelo de abordagem, segundo o qual se tem em linha de conta que os determinantes da forma são diversos: os materiais disponíveis, o clima, a topografia, as convenções culturais, a função, o nível tecnológico e os recursos económicos.

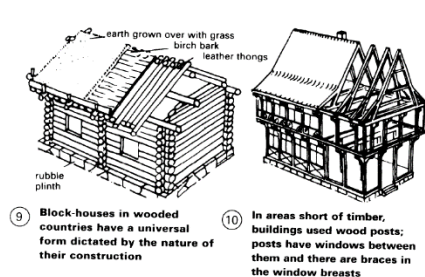


Fig. 56 - Justificação de sistemas construtivos baseada na disponibilidade de matéria-prima (Neufert & Neufert, 2002).

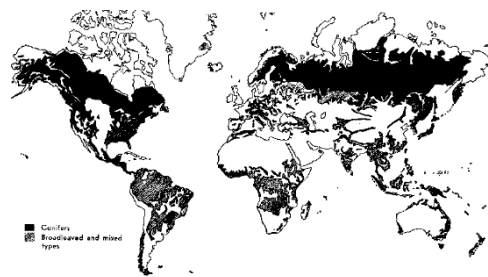


Fig. 57 - Distribuição mundial das florestas de coníferas (mais escuro) e de folhosas (mais claro) (<http://www.fao.org/docrep/x5353e/x5353e00.gif>).

Nessa linha, apesar do presente estudo ser focado na componente arquitectónica-estrutural da habitação optou-se por analisar, com base em exemplos retirados de várias fontes que abordam a História da construção em madeira, as principais condicionantes que afectam as escolhas construtivas e formais com base em seis factores: ao materiais, o ambiente, a cultura, a função, a durabilidade, a tecnologia e a economia.

As razões mais imediatas para o predomínio da construção em madeira em determinadas regiões e a sua inexistência noutras, podem ser investigadas com base em dois factores principais: a disponibilidade da matéria-prima, em primeiro lugar, e a eficácia da sua resposta ao clima em segundo lugar. São também esses factores conjugados com os instrumentos utilizados na transformação dos materiais que permitem justificar a forma de uma estrutura e um determinado “estilo” (Mitchel, 1997, p. 1). Mas Rapoport (1969, pp. 11, 12) na sua já clássica obra “House form and culture” ao tentar explicar as causas da variedade das formas da habitação afirma que os edifícios obedecem a requisitos contraditórios que dificilmente se adaptam a esquemas de classificação ou a modelos de explicação simples. Assim, preservar o sentido das complexidades e contradições entre habitação, lugares e cultura ajudará a compreender situações que à luz de explicações simplificadas não parecem ser lógicas.

As diferentes formas da casa não podem ser explicadas por um único factor, sendo as diferentes explicações a variação de uma resposta:

*“(...) pessoas com diferentes atitudes e ideias respondem a ambientes físicos de maneiras diversas. As respostas variam de lugar para lugar devido a mudanças e diferenças na interacção de factores sociais, culturais, rituais, económicos e físicos” (Rapoport, 1969, p. 46).*

Rapoport insistia em valorizar os factores socioculturais (entendidos como primários), desvalorizando a perspectiva determinista dos factores físicos (entendidos como secundários ou modificadores) (Rapoport, 1969, p. 47). Na nossa perspectiva, tendo em conta a visão de conjunto que se pretende obter, considera-se que é importante reconhecer que os diversos factores explicadores operam em conjunto, com graus de importância variáveis em função do contexto em que a forma construída ocorre.

#### 1.1.3.1 DISPONIBILIDADE DE MATERIAIS

Apesar do que foi dito antes, a observação de escolhas similares em diferentes culturas e territórios permite, em alguns casos, verificar que surgem soluções semelhantes quando os materiais disponíveis para construir são também semelhantes. Mitchel (1997) exemplifica este argumento com as seguintes correspondências: o adobe nas regiões áridas, a turfa e os fardos de palha nas planícies, o colmo nos trópicos, os iglôs de gelo no Ártico e os toros e a madeira em geral nas zonas de floresta temperada e nas regiões de montanha. Nos níveis mais primários do desenvolvimento do Homem, este será sem dúvida o factor mais importante. A existência de um material e a ausência de outros não se trata tanto de uma escolha, mas mais de uma inevitabilidade.



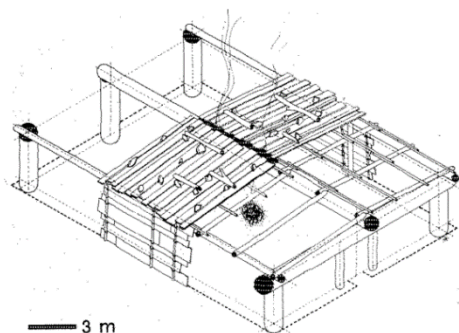


Fig. 58 - Casa de índios Hesquiat da Costa Oeste do Canadá em Nootka Sound (Clayton, 1990).

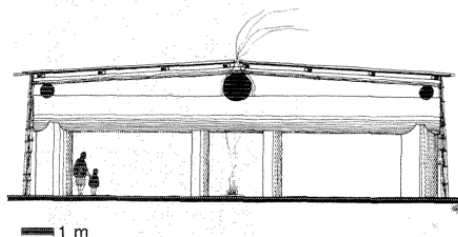


Fig. 59 - Casa de índios Hesquiat da Costa Oeste do Canadá com vigas de 1,2m de diâmetro (Clayton, 1990).

A disponibilidade de matérias-primas para a construção é especialmente importante nas situações em que se dá a colonização inicial de um território, tal como sucedeu na América do Norte. Nas casas de Savannah, na Geórgia<sup>27</sup>, onde os primeiros colonos chegaram em 1733:

*“O uso exclusivo da madeira para a construção de casas era o resultado do ciclo lógico de reutilização das árvores que tinham sido cortadas (Carvalho, Pinho e Cipreste) para a limpeza do terreno para a agricultura. A madeira resultante da limpeza era também utilizada para construir uma paliçada no perímetro da nova cidade” (Steele, 2009b, p. 19).*

Ou seja, a madeira não só era um material disponível como também se encontrava pronta a utilizar devido a um processo de abate com fins agrícolas e de implantação de edifícios. Até haver fornos para fabricar tijolos na região de Savannah, a madeira era utilizada para todos os componentes da construção, incluindo as chaminés.

Também na colonização do Canadá se assistiu a uma utilização generalizada da madeira, nomeadamente através da construção de abrigos e casas com paredes pesadas de toros, embora este fosse um sistema muito consumidor de matéria-prima. Esta escolha justificava-se precisamente porque a madeira era o recurso cuja disponibilidade resultava também, tal como em Savannah, da necessidade de limpar o terreno envolvente às construções através do abate de árvores (Richie, 1979). O sistema de toros exigia no entanto troncos longos e por esse motivo, terá sido desenvolvido o sistema “*poteaux en coulisse*”, ou “*Red River frame*”, que se mostrava mais adequado para as regiões onde as árvores disponíveis tinham uma dimensão limitada (cf. Figura 49). Tal era o caso da pradaria central do Canadá onde o sistema vingou, contemplando toros de 3' a 10' e postes de 8'. Os postes encaixavam num toro de soleira que era colocado sobre uma fundação e os toros horizontais encaixavam entre os espaços dos postes proporcionando o isolamento necessário (Kalman, 1995, p. 328).

Em Manitoba, no Canadá, onde o sistema foi amplamente acolhido, a madeira que era recolhida a norte, nas margens do lago Manitoba e nas margens dos rios, tornou-se a certa altura mais escassa e passou a ser necessário importar madeira serrada ou a mudar para outros materiais como a pedra (Kalman, 1995, p. 334). No caso da América do Norte, à medida que os pioneiros se deslocavam para as regiões do interior deparavam-se com zonas onde o material preferido e conhecido para a construção - a madeira - não se apresentava disponível ou era muito raro. Tal situação ocorria por exemplo no Nebraska, onde nem mesmo a pedra se encontrava disponível, pelo que a resposta mais imediata consistiu em construir com o recurso existente: a terra estruturada com herbáceas (*sod*). Construíram-se

<sup>27</sup> Eram casas térreas, com um pequeno espaço de sótão e com cerca de 4,80mx7,30m e com um pé direito de 2,40m. A prevenção contra as inundações e a humidade era realizada através da elevação do pavimento, cerca de 60cm, sobre fundações de toros. Utilizavam-se pranchas de pavimento com 3,8cm de espessura e perfis de madeira para o revestimento e soletos de madeira para a cobertura.

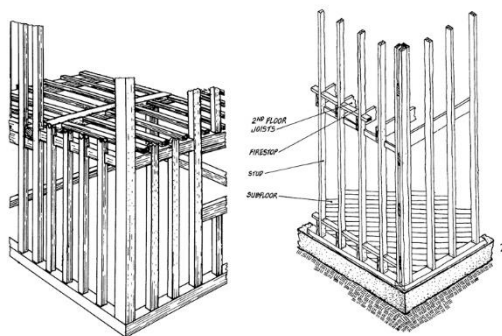


Fig. 60 - Evolução do sistema porticado reforçado (séc. XVII-XVIII) (à esquerda) para o *balloon-frame* (à direita) (Savage & Lee, 1984).

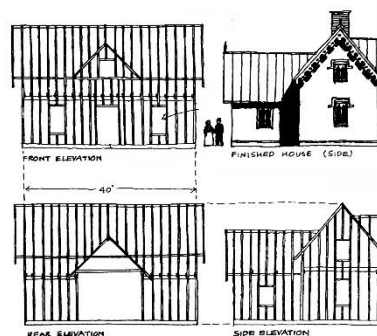


Fig. 61 - Exemplo de aplicação do sistema *balloon-frame* numa casa de 1840 (Walker, 2002).

assim na planície as típicas casas de terra designadas por “*sod houses*”, em vez das habituais casas de madeira (Steele, 2009b, p. 27).

Fora do contexto da colonização, determinadas soluções só são possíveis e explicadas através da existência dos recursos locais. A forma singular e visualmente pesada das casas familiares dos índios da costa noroeste do Canadá (cf. Figuras 58 e 59) só foi possível pela presença de grandes árvores de Cedro vermelho (*Thuja plicata*) que alcançavam frequentemente alturas entre os 45 metros e os 60 metros, e diâmetros de dois metros. Os elementos estruturais das casas Hesquiat tinham grandes secções: as vigas principais e os pilares de canto e de topo tinham diâmetros de 120cm. A viga de cumeeira tinha um diâmetro entre 90cm a 100cm, os pilares do portal central 60cm de diâmetro e as vigas laterais 45cm (Clayton, 1990, p. 19). Apesar das suas dimensões esta madeira era branda, podendo ser fraccionada e dividida em peças menores com alguma facilidade. Para além de ser uma madeira com elevada durabilidade, a casca era espessa e fibrosa, podendo ser utilizada como componente de revestimento de cobertura. Terá sido também o facto de esta ser uma madeira branda que permitiu desenvolver as características simbólicas destas habitações que contemplavam (em alguns casos) a inclusão de grandes tótemes esculpidos em postes colocados no centro da fachada principal e a respectiva decoração através de um trabalho de escultura e entalhe (Clayton, 1990).

Muitos autores consideram que a escassez de madeira, numa determinada altura do desenvolvimento das sociedades habituadas a utilizá-la, para além de obrigar a equacionar formas construtivas alternativas, como aconteceu com as casas de terra das planícies, incentivou o desenvolvimento e aceitação de novos sistemas e tecnologias. Segundo Clayton (Clayton, 1990, p. 8), a escassez de madeira nas pradarias dos territórios americanos conjugada com a ausência de carpinteiros qualificados não facilitava a construção de edifícios com o sistema de reticulados pesados de inspiração europeia (*heavy frame type*). Por outro lado, as casas de terra só satisfaziam os colonos nas fases iniciais da colonização pelo que a procura de casas de madeira de qualidade exigia a importação de matérias-primas de outros lugares. O sistema *balloon-frame*, mais do que todos os outros, adequava-se perfeitamente a estas necessidades principalmente pela sua leveza e pela normalização dos respectivos componentes (cf. Figuras 60 e 61).

Os factores geográficos, conjugando a geologia e a floresta, permitem identificar lógicas regionais como as que refere Kalman ao descrever as estatísticas de 1851-2 no Ontário que revelam que o predomínio da pedra no Leste do Ontário e das boas argilas para tijolos na zona do Toronto justificavam a integração maioritária destes materiais na construção de casas. As mesmas estatísticas mostravam que a madeira surgia principalmente em zonas

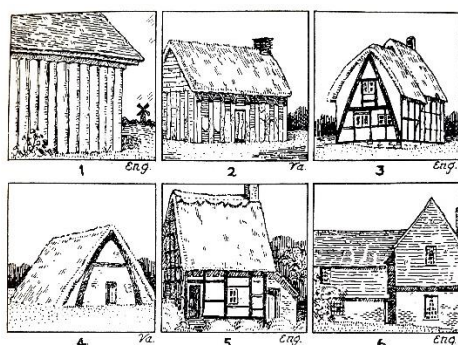


Fig. 62 - Tipos de construção medievais Anglo-Saxónicas, incluindo o "cruck frame" (n.º 3 e n.º 4) (Forman, 1967).

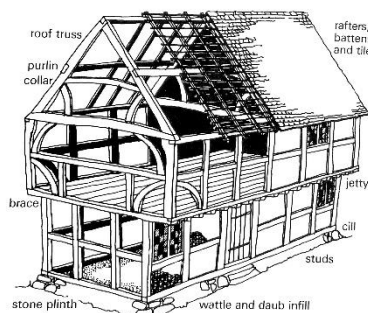


Fig. 63 - Reticulado pesado do Sudeste de Inglaterra (Oliver, 1987).

próximas de serrações (Kalman, 1995, p. 170). Seguindo a mesma perspectiva, Benson (1977, p. 9) considera que na Grã-Bretanha, a construção em madeira nunca terá sido importante em zonas onde o solo era predominantemente de calcário e portanto com uma floresta mais débil ou inexistente.

Embora se reconheça que a escassez de determinados materiais impossibilita alguns tipos de soluções, também é evidente que a disponibilidade e domínio de um determinado material não implica por si só à sua utilização nem conduz a uma forma construtiva e arquitectónica. Rapoport (1969, p. 104) recorreu a vários exemplos no universo vernacular para o demonstrar: nas regiões de Caux e Caen, apesar da riqueza em pedra e da escassez da madeira, o autor pode verificar, algo surpreendentemente, que se construíam casas de madeira. Por outro lado, contra uma suposta lógica de aproveitamento dos recursos, em zonas muito arborizadas da Normandia, por exemplo, encontrou casas de pedra. Rapoport descreveu ainda situações em que por vezes a mudança no uso dos materiais de construção não coincidiam com uma alteração prévia dos recursos disponíveis. Tal terá acontecido na região de Monmouthshire, País de Gales, onde as casas que eram por tradição construídas em madeira, passaram no final do século XVII, durante um curto período temporal, a ser construídas em pedra (Rapoport, 1969, p. 109). Este tipo de alteração de práticas construtivas só se justificou, em muitos casos, através dos mecanismos da moda, da imitação e do estatuto contra a aparente lógica da proximidade dos recursos.

Em alguns casos, apesar da existência da madeira como recurso disponível, as suas características em termos de espécie e dimensão obrigavam os construtores à procura de soluções alternativas. Em Alberta, durante os esforços de consolidação da colonização do Oeste no final do século XIX, surgiram situações pouco habituais como a da já referida construção de casas com toros verticais. Esta solução construtiva acabava por ser uma forma de enfrentar a escassez e as características das árvores locais:

*"In areas where the trees were not big enough to provide logs that were long or straight enough to be laid horizontally, the logs were placed vertically into a trench - like the pieux en terre seen among early french settlers (...)" (Kalman, A History of Canadian Architecture - Volume 2, 1994, p. 502).*

Durante a Idade Média, os reticulados pesados terão sofrido transformações e alterações diversas por motivos relacionados com a escassez da madeira nas florestas próximas dos centros urbanos (para além de outros factores económicos e tecnológicos). Por exemplo na Inglaterra da era Tudor (1485-1613), a falta de madeira devido à sua exploração excessiva, tanto para construção como para combustível e para o fabrico de embarcações, segundo Turan (2009), revelava-se de tal forma preocupante que a Arquitectura doméstica terá sofrido alterações no sentido de tornar as estruturas mais ligeiras e económicas. Também Raeburn (1986) aponta a consciência da destruição da floresta como sendo o factor responsável pela

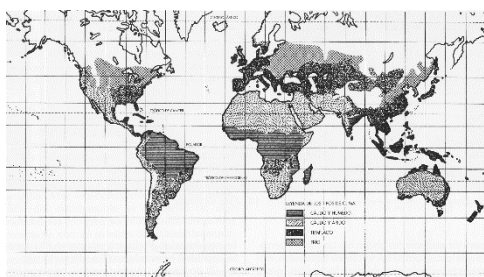


Fig. 64 - Zonas climáticas do mundo (Olgay, 2002).

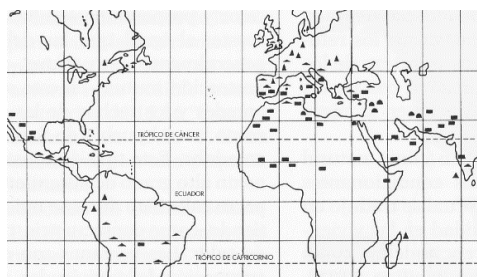


Fig. 65 - Formas das coberturas indígenas (Olgay, 2002).

procura de processos menos consumidores de componentes de grande secção e de grandes comprimentos.

O recurso a elementos de menores dimensões está relacionado com novas formas de edifícios de habitação em madeira como a casa de ressalto que povoou as cidades da Idade Média e o “*box frame*” em Inglaterra” (cf. figura 63). O aparecimento do sistema “*box-framing*”, com elementos de madeira menos pesados, que foi dominante no Leste e no Sudeste da Grã-Bretanha, enquadra-se no contexto das preocupações de preservação da floresta e da manutenção do fornecimento de matéria-prima para as embarcações da Marinha de Guerra. A preocupação com a construção naval foi explicitamente evidenciada por Henrique VIII quando pretendeu proibir a construção “*cruck-frame*” (May, 2010a, pp. 52, 53), consumidora de boas madeiras (e.g. Carvalho) e de componentes com as curvaturas necessárias também à construção das embarcações. Em Inglaterra as vantagens destes “novos” sistemas tornou-se evidente: para além de recorrerem a menos madeira que o tradicional “*cruck-frame*” permitiam realizar construções de dois e três pisos, possibilitando também com mais facilidade realizar ampliações através da construção de volumes adicionais (cf. Figura 62).

No universo da construção em madeira, a alteração das espécies de madeira utilizadas pode ter também um impacto na forma dos elementos construtivos. Brunskill (2000, p. 55) diz que o Carvalho, no contexto Britânico, era a espécie originalmente mais utilizada nas estruturas, mas mais tarde o Ulmeiro e outras madeiras importadas passaram a ser cada vez mais consumidas. À medida que as técnicas de carpintaria evoluíam e a madeira se tornava mais escassa, a tendência geral evoluiu no sentido de se utilizar cada vez mais as madeiras resinosas de crescimento mais rápido. No caso dos porticados ogivais este facto reflectiu-se na utilização de elementos de menor secção e menos resistentes. Por outro lado, no caso dos reticulados pesados do tipo “gaiola”, a introdução de madeiras resinosas terá conduzido à superação da distinção entre montantes estruturais e não estruturais (situação que ocorria antes) de modo que todos os elementos passaram a ter aproximadamente a mesma secção. Este desenvolvimento terá ocorrido primeiro nas divisórias reticuladas, mas mais tarde terá sido adoptado também nas paredes exteriores dos edifícios de menor dimensão (Brunskill, 2000, p. 55).

A disponibilidade ou escassez de um material pode ser motivada também por causas excepcionais como acontece com frequência em tempos de guerra. Segundo Herbers (2004) depois da segunda guerra mundial (1939-1945), a economia e a indústria deparou-se com um excedente de aço que terá impulsionado o desenvolvimento de sistemas de construção de betão armado, mesmo nas regiões onde tradicionalmente dominava a construção em madeira. Esta disponibilidade conjugada com os princípios teóricos da Arquitectura Moderna terão conduzido inevitavelmente a uma redução drástica da construção em madeira.

A disponibilidade de um material, no entanto não explica por si só o seu uso, tal como se lamentava o duque de La Rochefoucauld-Liancourt comentando a Arquitectura de Kingston

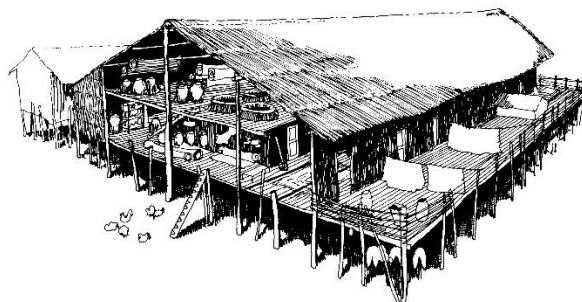
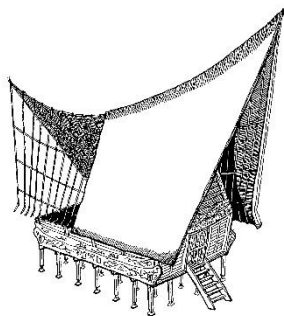


Fig. 66 - Habitação Toba Batak (Oliver, 1987). Fig. 67 - Esquema sem empena de casa grande dos Iban (Oliver, 1987).

(Upper-Canada), onde dominava a construção em madeira que ele considerava inferior em muitos aspectos à de pedra:

*"The houses... are built of wood, for reasons it is extremely difficult to discern. The city is seated on rocky ground (...) buildings with stone would be less expensive than with wood"* (Kalman, 1995, p. 143).

#### 1.1.3.2 RESPOSTA AMBIENTAL

Apesar de não se conseguir justificar sempre a forma da habitação através do clima, como refere Rapoport, é uma evidência que a sua importância pode ser determinante na escolha de uma solução<sup>28</sup>, especialmente em condições de alta severidade ambiental e de reduzida evolução tecnológica (Rapoport, 1969, p. 83). Em regiões de condições climáticas mais exigentes (áreas de máxima necessidade de abrigo), a forma das construções resulta de uma resposta cujo objectivo é a maximização do conforto ambiental com a utilização simultânea de um mínimo de recursos. Como exemplos claros deste tipo de processo podem apontar-se as soluções recorrentes do sudeste asiático (cf. Figuras 66 e 67) que consistem em sobreelevar a habitação do solo e utilizar estruturas porticadas como reacção ao clima tropical húmido<sup>29</sup>.

A análise das grandes regiões climáticas (cf. Figura 64) tem permitido estudar as formas das habitações uma vez que há determinadas respostas construtivas que se afiguram lógicas<sup>30</sup>. Nos climas quentes e secos, a abordagem racional conduzirá à utilização de materiais com elevada massa térmica como o adobe, a terra e a pedra. Nos casos em que o abrigo é móvel, maximiza-se a ventilação e o sombreamento escolhendo-se as tendas de pele e feltro, como as que são utilizadas pelas tribos nómadas (Rapoport, 1969, p. 89) (Olgyay, 2002). A geometria das construções será compacta, as paredes terão um papel protector mais importantes que a cobertura, promovendo-se a separação entre o espaço de cozinhar e as restantes funções. Quanto à envolvente construída, os vãos para o exterior serão reduzidos e as cores serão claras. Este tipo de clima em princípio não irá favorecer a madeira como material principal.

Nos climas das florestas da zona equatorial e savanas tropicais (África, Ásia da monções, Austrália, Polinésia, Amazonas) quentes e húmidos, com chuvas vigorosas, temperaturas relativamente moderadas, com reduzida amplitude térmica e radiação intensa, a maximização do sombreamento e a minimização da massa térmica conduzirá racionalmente à concretização de espaços abertos, com o mínimo de paredes e com materiais leves,

<sup>28</sup> A resposta às forças do vento, da chuva, da neve e eventualmente dos sismos, não justificam por si mesmas uma forma construtiva, mas limitam ou tornam possíveis determinadas soluções (Rapoport, 1969, p. 104). Por outro lado, as formas construídas das habitações de uma dada região podem ser condicionadas por um conjunto de factores muito localizados, relacionados com a topografia e o coberto vegetal, como o vento, a chuva, a radiação e a luz.

<sup>29</sup> Outros exemplos de respostas a condições extremas são os iglôs do Ártico americano, e as casas de terra e pedra do deserto.

<sup>30</sup> As soluções encontradas para maximizar o conforto debatem-se também com a variação das estações, promovendo normalmente respostas de compromisso. Mas para além destas, surge também a prática da mudança sazonal de habitação. Rapoport dá o exemplo dos índios Paiute que habitam estruturas cónicas no Inverno, mudando no Verão para plataformas quadradas, com quatro postes e sem paredes, optimizando o sombreamento e a ventilação (Rapoport, 1969, p. 87).

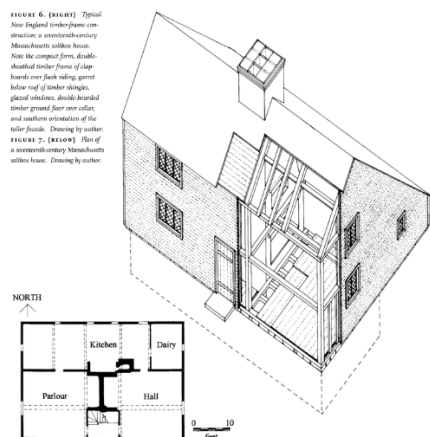


Fig. 68 - Edifício típico colonial de Nova Inglaterra - *Salt box* type (Steane, 2004).

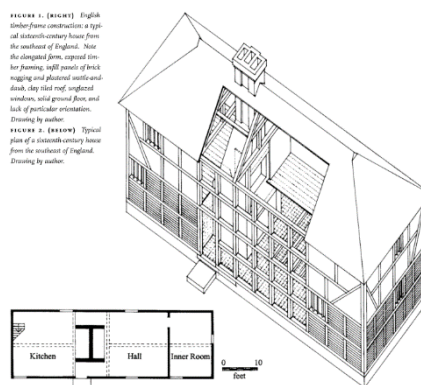


Fig. 69 - Edifício típico de reticulado de madeira em Inglaterra (século XVI) (Steane, 2004).

maximizando-se a ventilação e adoptando-se geometrias longas e estreitas (Rapoport, 1969, p. 93). A cobertura será mais importante que as paredes, funcionando como um pára-sol, de elevada pendente para enfrentar as chuvas violentas. Nestas condições, adopta-se a mínima massa térmica para evitar o sobreaquecimento e a re-radiação. Encontram-se nestas zonas soluções de construção em madeira, reticulados de troncos, ramos, bambu, palha e folhas de árvores (Olgyay, 2002). Mas se é um facto que é possível observar a utilização racional da construção em relação ao clima, na verdade nem sempre estas soluções surgem em climas quentes e húmidos, como aconteceu com a civilização Maia que optou por habitações de pedra com vãos muito reduzidos (Rapoport, 1969, p. 94).

Nos climas frios do norte e nas regiões montanhosas, o princípio dominante será o da conservação do calor no interior, pretendendo-se evitar as perdas térmicas para o exterior. As opções lógicas conduzirão a plantas compactas e materiais com boa capacidade de isolamento, evitando-se as trocas de ar entre o ambiente interior e exterior. A neve pode ser por vezes considerada como isolante das coberturas, e as lareiras e fogões ajudarão a aquecer o ambiente. Em alguns casos a presença próxima dos animais pode ajudar a elevar a temperatura dos espaços interiores. Haverá no processo de escolha dos vãos um compromisso entre a maximização da radiação e a diminuição das perdas solares. Simultaneamente a utilização de cores escuras pode ter um contributo para a captação de calor (Rapoport, 1969, p. 95). Tradicionalmente nestas regiões de climas frios, são frequentes as habitações com paredes pesadas de madeira recorrendo aos toros horizontais (Olgyay, 2002).

A zona temperada poderá ser dividida segundo Dollfus em duas regiões, uma mais a norte (acima dos 45°N na Europa e 30°N na América) onde, para além das casas de alvenaria de pedra, se encontrariam os reticulados de madeira (do tipo “gaiola”) com painéis de outros materiais, como a argamassa armada e as coberturas de elevada inclinação, frequentemente revestidas com colmo. A sul desta linha divisória (regiões mediterrânicas por exemplo), as paredes seriam o principal elemento da casa, construídas tradicionalmente com pedra e tijolo e coberturas mediantemente inclinadas, revestidas com telhas (Olgyay, 2002, p. 6).

No caso dos tipos de habitação que se desenvolveram na Nova Inglaterra a partir dos modelos de referência Ingleses que os colonos introduziram inicialmente, o clima terá sido um condicionante muito relevante no processo de evolução para novas soluções. A tipologia arquitectónica mais comum em Inglaterra na zona de proveniência maioritária dos colonos seria a do “*hall and parlour house*” (o hall seria o centro de actividade da casa e o *parlour*, um



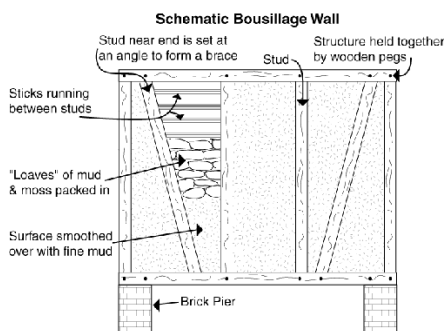


Fig. 70 - Parede tipo "bousillage"  
(<http://www.crt.state.la.us/hplaheritage/CreoleHeritage/color/Creole17.gif>).

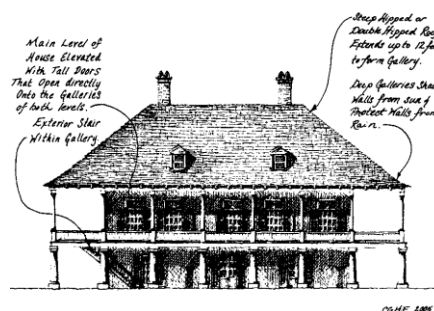


Fig. 71 - Casa Francesa colonial do vale do Mississippi  
(<http://christinefrank.wordpress.com/2011/01/19/houses-of-the-french-colonial-tradition/>).

espaço para uso formal e também para dormir), com uma lareira e chaminé em tijolo<sup>31</sup> numa posição central. A estrutura e as paredes destas habitações eram construídas com recurso a um reticulado pesado de madeira.

Na Nova Inglaterra do século XVII, ainda que houvesse mais horas de sol, o clima de Inverno apresentava-se mais rigoroso que no Sudeste de Inglaterra. Os ventos do Noroeste, a neve e as chuvas eram uma das causas do clima agreste descrito em vários textos da época. Depois de uma fase inicial de construções improvisadas, os colonos começaram a construir na tradição conhecida dos referidos reticulados pesados, preenchendo os vazios preenchidos com "argamassa armada" (*wattle and daub*). Como revestimento utilizaram-se pranchas ou perfis (com secção em forma de cunha) de madeira de Cedro fixados com cavilhas de madeira ou com pregos fabricados à mão, e coberturas em colmo (mais tarde substituída por *shingles* de madeira fixados sobre uma camada de pranchas). O revestimento exterior com perfis de madeira seria uma forma de proteger a estrutura sujeita aos extremos das temperaturas específicos da região. O reboco, como solução para o revestimento, não se terá revelado uma boa opção, não apenas porque a cal para a sua execução não estava imediatamente disponível, mas também porque o seu comportamento em termos de estanquidade era menos adequado ao clima local.

Inicialmente na Nova Inglaterra adoptaram-se as formas simples, evitando-se por exemplo as mansardas, que poderiam suscitar pontos frágeis na construção. Em relação à cobertura, optou-se por beirados sem projecções para evitar eventuais danos provocados pelo vento, e a sua inclinação foi aumentada para evitar a acumulação de neve. A forma inicial compacta evoluiu mais tarde para o tipo conhecido como "saltbox", por via de uma ampliação que dava origem a empenas assimétricas. A partir do século XVIII essas casas apresentavam em geral a orientação da fachada das salas maiores a sul e a cobertura maior a norte. Segundo Steane (2004), após as experiências iniciais, as respostas de adaptação ao clima, com exigências suplementares de estanquidade e isolamento térmico, conduziram à definição de uma nova tradição que contemplava volumes compactos e sistemas construtivos de estrutura e envolvente totalmente em madeira (à excepção da chaminé e das fundações).

Também na Louisiana, especialmente no delta do Mississípi, a adaptação da Arquitectura colonial levada pelos Franceses assistiu a uma evolução que pode ser justificada em grande parte pela adaptação ao clima quente e húmido. Os colonos Franceses que descenderam o Mississípi introduziram a solução dos reticulados pesados tipo "colombage" preenchidos com tijolo. Esta solução foi primeiro adaptada aos hábitos e materiais utilizados pelos índios locais

<sup>31</sup> Para a execução das lareiras, quando não havia possibilidade de fabricar tijolo, o que acontecia com frequência nas colónias, optava-se pela alvenaria de pedra, relegando-se estas para as empenas, para otimizar as dimensões dos espaços interiores.

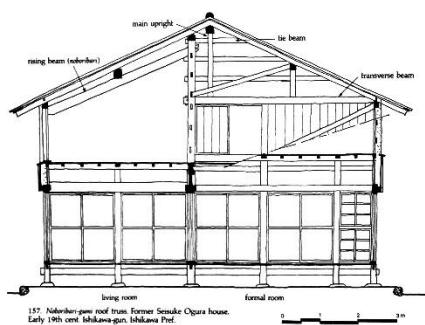


Fig. 72 - Casa Japonesa (Kawashima, 2000).



Fig. 73 - Casa Japonesa (Kawashima, 2000).

tendo a distância entre postes passado a ser menor, preenchendo-se os vazios com uma mistura de argilas e musgos chamada “*bousillage*” (cf. Figura 70). Esta estrutura era revestida com pranchas de Cipreste e a cobertura era finalizada em colmo.

As condições climáticas da região no entanto sujeitavam as construções às consequências nefastas das cheias, das chuvas violentas, dos ciclones e das temperaturas elevadas. Adicionalmente a longa estação quente e húmida colocava em causa o conforto da habitação, suscitando a procura pela melhoria das soluções até aí adoptadas. O processo de adaptação que se seguiu consistiu em elevar a casa do solo sobre uma plataforma de alvenaria e em adicionar uma varanda coberta envolvendo o perímetro. Desse modo, a construção passava a estar mais protegida da humidade e da incidência solar directa pelo sombreamento da cobertura. Esta solução tomou as designações de “*Louisiana raised cottage*”, “*Louisiana plantation house*”, ou “*Louisiana raised French planter*” entre outras. Uma forma que se tornou comum na evolução desta tipologia arquitectónica consistia em construir com dois pisos, utilizando-se o piso inferior para armazenagem (cf. Figura 71). O sistema surgiu depois com muitas variantes, uma delas consistia em cobrir o exterior com perfis de madeira de Cipreste dispostos na horizontal, com reboco ou com cal. Noutras situações, a “*bousillage*” viria a ser substituída por tijolo ou por um betão com inertes de conchas (Cazayoux, 2014).

A alteração dos hábitos construtivos dos colonos do norte da Nova França<sup>32</sup> na evolução de um sistema transformado de reticulados europeus - a *colombage pierroté* - para um sistema integral de madeira com componentes montantes verticais dispostos sobre um frechal a curtas distâncias deveu-se também ao clima muito mais frio de algumas regiões das colónias. A agressividade do clima de Inverno provocava frequentemente fissuras e pontos frágeis nos elementos construtivos. Estas condições exigiam materiais que proporcionassem um maior isolamento térmico e um sistema que não sofresse com o comportamento diferencial dos materiais quando submetidos às variações de temperatura. A resposta que pareceu lógica consistiu primeiro em cobrir a construção com pranchas de madeira e depois em eliminar os espaços entre os elementos verticais construindo uma parede com toros verticais segundo uma superfície contínua. Depois de adoptadas estas soluções ter-se-á percebido que as juntas de ligação entre as pranchas e entre os toros verticais constituíam também pontos muito frágeis quando se dava a retracção da madeira. Assim, ensaiou-se posteriormente uma solução mais durável com toros esquadriados horizontais (*pièce sur pièce*). A vedação proporcionada pela acção da gravidade desses toros permitiria ultrapassar os problemas de estanquidade que surgiam nas soluções ensaiadas anteriormente (Hébert, 2007) (Kalman, 1995, pp. 48,49).

<sup>32</sup> A Nova França estendia-se da Baía de Hudson e da Terra Nova a norte até à Louisiana (Golfo do México) no sul.



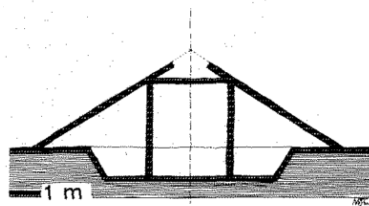


Fig. 74 - Abrigo de Inverno ("pit-house") do "Plateau Indian" no Canadá (Clayton, 1990).

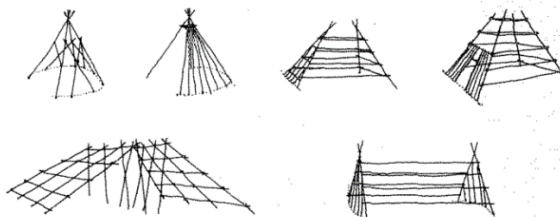


Fig. 75 - Estrutura de reticulados leves de Verão do "Plateau Indian" no Canadá (Clayton, 1990).

No Japão desenvolveu-se ao longo dos séculos uma Arquitetura única pela sua diversidade e durabilidade<sup>33</sup>. Sendo um país coberto inicialmente com 90% da sua área com florestas de espécies diversas, o tijolo não se impôs, como na China. A madeira foi desde sempre o material dominante da casa tradicional (cf. Figuras 72 e 73), surgindo a pedra apenas nas fundações e a cerâmica nas telhas. A casa Japonesa teve de fazer constantemente face às numerosas condicionantes do meio ambiente: tremores de terra, tufões e inundações. Terá sido em grande parte devido a essas condicionantes que os construtores japoneses adoptaram desde cedo e mantiveram ao longo dos séculos um sistema porticado em madeira. A estrutura principal autonomizava-se dos tabiques, muitas vezes móveis, que por sua vez funcionavam como meros elementos de preenchimento (Provost, 2010).

Já no século XIX, as descrições dos primeiros sismólogos davam conta das vantagens das casas de madeira ao descreverem os resultados do sismo de 1880:

*"Everywhere the houses are built of wood and generally speaking are so flexible that although at the time of a shock they swing violently from side to side in a manner which would result in utter destruction to a house of brick or stone, when the shock is over, by the stiffness of their joints, they return to their original position, and leave no trace which gives us any definite information about the nature of the movement which has taken place"* (Clancey, 2006, p. 64).

Com uma diferente perspectiva, Masuda (1969) por exemplo sugere que não será tanto a estrutura de madeira que é eficaz, mas mais o seu carácter de fragilidade que é importante:

*"Japanese structures therefore were almost invariably built of wood, despite the frequent serious damage caused by fires, typhoons and earthquakes. This fatalism which considered the house as temporary and transient, had prevailed since the Middle Ages"*.

A vantagem da madeira, segundo esta perspectiva, residirá não apenas no seu bom comportamento estrutural, mas também na facilidade com que são desmontadas e demolidas as casas em caso de catástrofe.

Tem sido referido também que a casa Japonesa não é uma solução que, para os padrões ocidentais, constitua uma boa resposta às condicionantes do clima, especialmente no Inverno. Um dos primeiros olhares ocidentais sobre a casa Japonesa é dado por Edward Morse no seu livro "Japanese homes and their surroundings":

*"I found the Japanese house in winter extremely cold and uncomfortable (...) [but] The Japanese do not suffer from the cold as we do. Moreover, when in the house they clothe themselves much more warmly; and for what little artificial warmth they desire, small receptacles containing charcoal are provided, over which they warm themselves, at the same time keeping their feet warm"*. (Morse, 1895)

Ou seja, o desempenho ambiental é também um padrão que varia com a cultura, devendo este ser analisado e avaliado tendo como referência as exigências locais.

Uma solução adoptada por certos povos primitivos para enfrentar a diferença de exigências nas estações de Inverno e Verão consistia em adoptar diferentes formas de abrigo

<sup>33</sup> Construído entre 670 e 714 e inscrito no inventário do património mundial da UNESCO, o templo budista de Hôriû-Ji de Nara é considerado o conjunto mais antigo do mundo de edifícios em madeira.

alternadamente. Assim, por exemplo os índios das terras baixas e dos vales de British Columbia no Canadá tinham que enfrentar Invernos rigorosos com neve e suportar depois Verões quentes e secos, com condições desérticas ocasionais. Assim, durante o Inverno habitavam as “*pit houses*”, com geometrias de polígonos regulares e pavimentos rebaixados no solo (cerca de um metro), com estruturas porticadas leves de madeira (com secções de 15cm a 22cm), e revestimentos de terra vegetal (cf. Figura 74). O objectivo principal consistia no aproveitamento da massa térmica da terra para conservar a temperatura. No Verão, abandonavam as “*pit houses*” passando a habitar tendas montadas a partir de reticulados leves de madeira (cf. Figura 75) e revestidas com esteiras de diversos tipos (Clayton, 1990, pp. 33, 34). A leveza dos materiais destas tendas, para além de proporcionar uma grande mobilidade permitia introduzir mecanismos de ventilação através da manipulação dos revestimentos.

#### 1.1.3.3 RESPOSTA CULTURAL

Sendo evidente que os factores físicos adquirem um grau de importância muito grande nas escolhas de materiais, e na concepção da forma da estrutura e da envolvente, a argumentação do determinismo físico por vezes não permite explicar porque é que há contextos em que surgem simultaneamente soluções tão diferenciadas ou porque é que é possível encontrar soluções que simplesmente contrariam a lógica das respostas mais racionais.

A escola possibilista de Vidal de la Blache defendia que os factores físicos apenas ofereciam possibilidades e não imperativos e Mumford acrescentava que o Homem é um animal fazedor de símbolos, mesmo antes de ser um fazedor de instrumentos<sup>34</sup>. Nesta argumentação o Homem terá atingido a “exactidão dos rituais” antes da “exactidão no trabalho”, colocando por isso a sua energia mais nas formas simbólicas que nas utilitárias (Rapoport, 1969, p. 42).

A resposta que é dada no contexto das comunidades primitivas e vernaculares quando são chamadas a construir rege-se por um sentido de continuidade com a tradição, misturando-se rituais e técnicas que perduram ao longo de gerações, não se explicando necessariamente por reacções aos factores do contexto físico. O exemplo paradigmático que Rapoport oferece para justificar a preponderância dos factores culturais sobre os físicos reporta-se aos Ona da Terra do Fogo, que embora possuindo competências para levar a cabo construções elaboradas, perante um clima frio, constroem apenas simples pára-ventos para habitar. Os mesmos Ona quando se tratava de definir os espaços para os seus rituais religiosos construíam cabanas cónicas muito mais elaboradas (Rapoport, 1969, p. 20). Rapoport refere ainda a frequência com que se descobrem soluções “anti climáticas” no universo vernacular demonstrando que tanto as soluções primitivas como as vernáculas são por vezes irracionais do ponto de vista da adaptação ao clima, obedecendo primeiramente a imperativos religiosos, de prestígio e de estatuto. Este autor acrescenta ainda o exemplo dos Boro no Amazonas que adoptam uma solução de casas comunais com cobertura e paredes espessas de colmo que impedem a ventilação tão desejável nos climas quentes e húmidos. Essas construções apesar de se mostrarem “anti-climáticas”, são antes de mais símbolos de estatuto.

A Arquitectura japonesa, segundo a interpretação de Nitschke (2002) será um resultado da interacção entre a cultura e o clima, provavelmente, com uma preponderância da cultura já que o clima se caracteriza pela sua enorme variabilidade de condições. As características das formas construídas no Japão correspondem mais às de um clima subtropical do que às

<sup>34</sup> A construção esteve frequentemente associada a importantes rituais e aspectos religiosos como acontece no Japão, China, Mares do Sul e Escandinávia (Rapoport, 1969, p. 108).

temperaturas muito baixas que ocorrem no Inverno em grande parte do território (o clima no Japão varia entre o frio seco, com neve a norte e o quente e húmido no sul, com uma diferença também grande entre o Leste, com ventos frios e o Oeste com as massas de ar quente e húmido do Pacífico).

Algumas práticas e formas do Japão resultam em parte da transferência da cultura Budista proveniente da Índia por via da China e da Coreia. A continuidade de outras práticas, como a da construção em madeira foram reforçadas pelo Xintoísmo, a religião animista indígena que considerava por exemplo que o abate de uma árvore responsabilizava moralmente o carpinteiro pela permanência do seu espírito na edificação. Na linha de autores que sublinharam o deficiente comportamento térmico das casas japonesas, Pryce acentua a importância da abordagem simbólico-estética:

*"Throughout, comfort has been sacrificed to simplicity". (Pryce, 2005, p. 28)*

Outro aspecto que foi criticado por visitantes ocidentais, como Bruno Taut (Rapoport, 1969, p. 25), foi a aparente falta de racionalidade das soluções estruturais das casas japonesas, onde por exemplo é desconhecida a asna como elemento eficaz para resolver o problema da cobertura. Esta situação só seria explicada pelo facto de se estar perante uma solução técnica veiculada pela tradição e à qual estariam associadas práticas de cariz religioso que dificilmente podem ser alteradas com base em argumentos que parecem lógicos na perspectiva do Arquitecto ou do carpinteiro ocidental.

A evolução das soluções construídas dá-se lentamente no contexto das comunidades vernaculares, ocorrendo as mudanças rápidas especialmente nos contextos urbanos sujeitos a trocas culturais ou em contextos de imigração ou de colonização, quando perante um meio diferente os imigrantes ou os colonos são desafiados a respostas entre a continuidade com a tradição, a sua ruptura ou a sua adaptação às novas condições. As descrições sobre a colonização da América do Norte são por vezes desconcertantes porque veiculam simultaneamente duas ideais contraditórias: a de que os colonos vão adoptar, por um lado, as soluções que já conhecem e a de que os colonos vão construir, por outro lado, utilizando os recursos locais. Veja-se a este respeito texto de Gould (1965):

*"Houses were built according to the custom of the country from which the settlers came, each group following to some extent the style of the mother country. Materials were brick, stone and wood. Wood was used predominantly in New England because of the vast forests; field stone and ledge in Pennsylvania and parts of New York state; brick in Maryland, Virginia and the South; stone in the Hudson region among the Dutch and sandstone in New Jersey – all materials of the local territory". (Gould, 1965, p. 21)*

O argumento da tese segundo a qual os colonos à medida que chegam a regiões com condições adversas assistem a um fenómeno de "renascimento" cultural, parte do princípio que as primeiras construções coloniais são uma resposta funcional e ambiental básica na qual se "esquece" de algum modo a bagagem de experiências anterior. Kalman considera que pelo menos no Canadá (Províncias Marítimas, Ontário e Planícies centrais) os colonos terão protagonizado uma primeira fase em que o abrigo básico não denotava as influências culturais das respectivas proveniências, seguida de uma segunda fase em que a tecnologia seria aperfeiçoada e conduzida aos limites, expressando-se a partir de então a cultura arquitectónica específica de cada grupo (Kalman, 1995, p. 336).

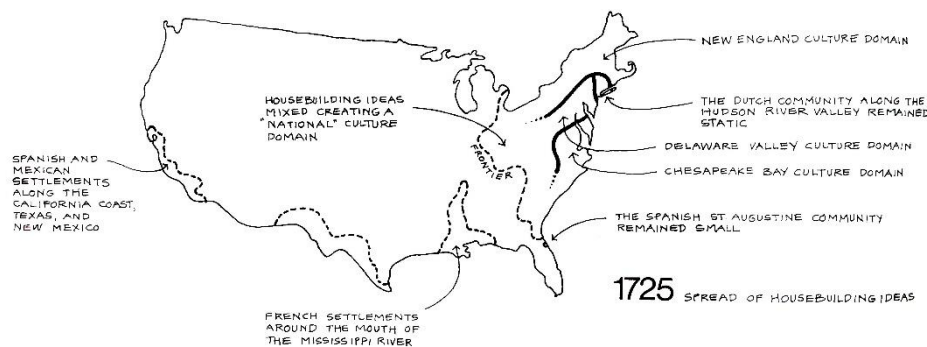


Fig. 76 - Os pólos de difusão das diferentes culturas na América do Norte (Walker, 2002).

O argumento da tese do “renascimento” cultural, referida como “*frontier hypothesis*” é rebatido pela análise de fenómenos de sentido contrário, como os que ocorreram mais tarde no contexto dos esforços para a colonização do Oeste do Canadá. No final do século XIX foram oferecidos incentivos para que novos colonos de diferentes proveniências se instalassem nas terras das pradarias centrais, como aconteceu significativamente com os Menonitas. Kalman (1994, p. 500) considera que o primeiro objectivo destes colonos seria o da construção de um abrigo contra os elementos do clima, tendo cada grupo começado por tentar desenvolver inicialmente as soluções conhecidas, adoptando as práticas das regiões de proveniência (forma das coberturas, colmo, reboco sobre toros no caso dos Menonitas). No entanto com o tempo, as respostas mais adequadas vão sendo apuradas conduzindo a uma certa uniformidade dos sistemas construtivos:

*“In time, however, industrialization become dominant, and the availability (...) of cheap milled lumber and standardized building systems led to a blurring of cultural identities. (...) Within a few generations, a sameness prevailed in prairie housing and the differences among groups was seen only in details and ancillary features, such as colours, fences and gardens” (Kalman, 1994).*

Igualmente importante no abandono de algumas práticas construtivas que se repetiam na Europa devido a motivações de ordem cultural era o menor peso que nas colónias tinham as regras sociais Europeias no respeitante, por exemplo, às distinções de classe. Benson (1977, p. 13) refere que num contexto colonial, menos formal, as soluções construtivas eram mais funcionalistas e menos simbólicas conduzindo por exemplo à solução específica dos porticados despojados e simples da América.

A importância da componente cultural na escolha do sistema construtivo não deve no entanto ser minimizada. Várias descrições e textos da era colonial Norte Americana suportam a ideia da identidade entre o tipo de habitação e o tipo de habitante. Em “Three years in Canada” (1929) um Engenheiro Real nos seus registos conta como conseguia com facilidade identificar a proveniência dos habitantes através da observação do tipo de materiais e das características das habitações: uma casa de tijolo ou pedra, se tivesse um desenho simples seria de um Inglês e se fosse menos uniforme seria de um Escocês; uma casa maior, de madeira e pintada de branco, seria de um Americano ou de um Lealista; uma casa derivada do tipo anterior, mas maior e construída em pedra seria de alguém que teria enriquecido no negócio das peles (Kalman, 1995, p. 170).

Também os episódios que dão conta de ocupações sucessivas da mesma região permitem detectar as mudanças das práticas no mesmo território: Em St. Augustin, Florida, a colonização inicial foi Espanhola, mas a partir do início do século XIX assistiu-se a vários episódios de troca de soberania com os Ingleses. Quando os Ingleses substituíram os

Espanhóis introduziram a sua tradição construtiva que contemplava o uso das estruturas de madeira, a ligação de mecha e respiga, os revestimentos com perfis, a janelas de guilhotina e os telhados inclinados de duas águas com as características mansardas. Muitas das casas pré-existent em alvenaria foram remodeladas, adicionando-se novas estruturas de madeira. Por sua vez, num mecanismo de alternância cultural, quando os Espanhóis regressaram, substituindo os Ingleses, manifestaram novamente a sua preferência pela técnica das alvenarias (Steele, 2009b, pp. 24, 25).

Na América do Norte, depois das fases iniciais de colonização, observavam-se situações em que a construção passava ser um veículo de estatuto desafiando uma vez mais a lógica dos recursos locais. As províncias marítimas do Canadá (New Brunswick e Nova Scotia) manifestavam laços culturais muito fortes com a Inglaterra, revelando na Arquitectura colonial uma similitude muito grande com a Nova Inglaterra, o que era lógico uma vez que não havia escassez de madeira nem de carpinteiros. No entanto, apesar disso, a pedra era considerado o material mais digno, a tal ponto que mesmo quando não se construía em pedra, utilizava-se a técnica dos fingidos sobre a madeira. Em Halifax, por exemplo, era frequente construir-se a fachada principal da habitação em pedra e as restantes três em madeira. Curiosamente e em contraste com este procedimento em Kingstone no Ontário, onde a pedra de calcário era abundante, surgia com frequência uma solução em que a fachada principal, a mais exuberante (*"showy wood facades"*), era construída em madeira reservando-se a pedra para as restantes fachadas que assumiam um papel mais secundário (Kalman, 1995, p. 129).

O poder de proibir ou de obrigar a uma prática construtiva foi ao longo da História outra das formas encontradas para modificar as formas construídas. Principalmente nas sociedades autocráticas, as instituições que detinham o poder encontraram nas leis um meio eficaz para veicular símbolos e para manter o *status quo*. Por exemplo na Coreia do século XV, estabeleceram-se regulamentos sobre a construção, com o objectivo de determinar a dimensão das construções, a utilização da cor, o tipo de decoração e os materiais utilizados. Chegava-se ao ponto de especificar que as colunas de madeira de secção redonda se deviam reservar para a realeza, devendo as construções comuns utilizar secções rectangulares ou quadradas (Steele, 2009b).

Outro tipo de regulamentação, que perdura na sociedade contemporânea tem como motivação principal a segurança das populações. As várias leis surgidas desde a Idade Média para combater os incêndios em meio urbano foram um dos factores que contribuiu para o decréscimo da construção em madeira em muitas regiões criando um incentivo à construção em pedra e em tijolo. No caso das cidades de Singapura, dominadas pelos Ingleses no século XVIII, os regulamentos contra incêndio previam a substituição das paredes e dos pavimentos de madeira bem como das coberturas (onde se recorria tradicionalmente às folhas de palma), por materiais e soluções mais duráveis como o tijolo rebocado e os mosaicos (Steele, 2009b, p. 96). Também no século XVIII, no Quebeque, as autoridades da Nova França, depois de um incêndio que terá consumido 138 edifícios em Montreal, decretaram a proibição da construção de casas de madeira, passando a aconselhar a adopção de revestimentos de cobertura com materiais cerâmicos e de pedra, permitindo apenas o revestimento de cobertura com *shingles* se fossem utilizadas duas camadas sobrepostas. A proibição foi depois estendida às cidades do vale de S. Lourenço, não contemplando as zonas rurais (Moogk, 1977). Mais recentemente, na sequência da revolução Russa de 1917, a tradição da construção em madeira foi associada a um passado contra o qual os novos valores se erguiam. No Verão de 1919, a Administração de Moscovo patrocinou a destruição de casas de madeira antigas,

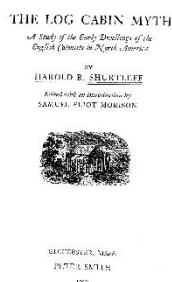


Fig. 77 - The log Cabin Mith de Harold Shurtleff (Shurtleff, 1967).

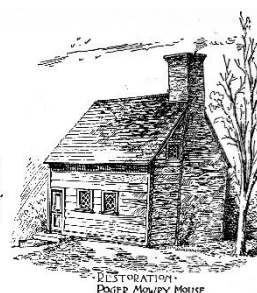
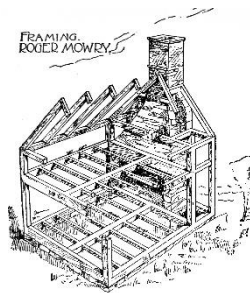


Fig. 78 - Mowry house, Providence, Rhode Island, 1653 (Shurtleff, 1967).

demolindo-se em 1920 mais de 5.000 edifícios sendo a madeira resultante utilizada como combustível (Pryce, 2005, p. 270).

A Arquitetura é de tal forma importante que alguns sistemas de construção depois de relacionados com os processos de desenvolvimento de um povo passam a fazer parte do seu conjunto de símbolos culturais. Os Estados Unidos da América adoptaram a certa altura a cabana de troncos como símbolo nacional. O orgulho americano na sua história de colonização encontrou na “log cabin” o símbolo mais eficaz. Duas campanhas presidenciais (1840 e 1860) fizeram deste tipo de habitação um protagonista associado à democracia dos Estados Unidos da América que permitia que homens como Andrew Jackson e Abraham Lincoln, nascidos em cabanas de troncos, chegassem à Casa Branca. “From log-cabin to the White house” era o título de uma biografia do presidente James A. Garfield, outro presidente Americano. Este mito foi de tal modo disseminado que a ideia segundo a qual os primeiros colonos Ingleses tinham inventado a cabana de toros e a tinham utilizado como primeiro abrigo teve que ser rebatida por estudos posteriores como o de Shurtleff: “The log Cabin Mith” (Shurtleff, 1967).

A cabana de toros como “símbolo de uma vida simples e despojada” quando não era apenas um abrigo temporário era visto pelos próprios habitantes como uma situação a superar. Kalman refere que as casas de toros no Upper Canada (Ontário), eram construídas porque eram mais económicas e fáceis de construir do que uma casa porticada ou reticulada:

*“Most people recognized that the log house was a stop gap measure and would soon be replaced by a more substantial building; indeed a frame, stone, or brick dwelling (...).” (Kalman, 1995, p. 160).*

Os tipos de reticulados leves tipo *balloon-frame* e *platform-frame* dificilmente poderão adquirir esta aura mítica e simbólica precisamente porque integram uma solução estrutural escondida sob um revestimento que pode adquirir características simbólicas muito diferenciadas. No entanto, Turan por exemplo diz que o “*balloon-frame*” deve também ser considerado uma representação cultural uma vez que a sua presença se fez (e faz) sentir em toda a paisagem da América do Norte (Turan, 2009).

A resposta cultural que é dada no acto de construir depende decisivamente do contexto em que intervêm os agentes da construção. A comparação entre as práticas vernaculares e as dos Arquitectos<sup>35</sup> na sociedade contemporânea evidenciam a presença das forças culturais em dois sentidos diferentes, embora com alguns aspectos comuns. A distinção principal consiste no já referido sentido de continuidade da tradição do vernáculo oposto ao sentido de inovação próprio dos Arquitectos. Enquanto no primeiro caso a cultura se transmite num grupo fechado e de forma consistente, no segundo a cultura transmite-se numa sociedade

<sup>35</sup> Rapoport (Rapoport, 1969) no seu estudo sobre a forma da casa faz uma distinção de partida entre a casa da tradição popular (*folk*) e a casa dos Arquitectos que situa na “*grand design tradition*”.

aberta e de uma forma que pode ser muito arbitrária e subjectiva (a moda ou a vontade autónoma do Arquitecto enquanto artista).

As soluções desenvolvidas pelos Arquitectos recorrem muitas vezes a inspirações de modelos estranhos à cultura dos contextos para os quais constroem. Essa situação foi a que ocorreu por exemplo quando os modelos da Arquitectura Moderna foram disseminados acriticamente sem ter em conta as condições dos contextos. Outra situação de sinal mais positivo foi a que se deu quando os mesmos Arquitectos modernos recorreram às formas da Arquitectura vernácula para encontrar fontes de inspiração. Um caso exemplar é o da relação óbvia que se pode encontrar entre a Arquitectura tradicional japonesa e algumas soluções residenciais de mestres modernos como Frank Lloyd Wright, Bruno Taut e Walter Gropius<sup>36</sup> (Steele, 2009b, p. 77). Há no entanto uma coincidência entre a Arquitectura vernácula e a arquitectura erudita, embora por motivos diferentes, nos casos em que ambas adoptam soluções que Rapoport chamaria de “anti-climáticas”, no primeiro caso justificadas pelo objectivo de permanência dos símbolos identitários e no segundo com o objectivo inovador de criação de novos símbolos.

#### 1.1.3.4 RESPOSTA FUNCIONAL

Ultrapassado um estágio inicial em que a construção remete para a necessidade de abrigo, a funcionalidade passa a ter um papel importante na definição das formas e consequentemente nas opções construtivas. A organização social e do trabalho dos grupos humanos exige suportes físicos para as actividades do dia-a-dia. Brunskill (2000, pp. 27, 28), aponta precisamente a função como o factor distintivo entre a Arquitectura vernacular realizada por “amadores” (os próprios habitantes) e a Arquitectura erudita, projectada por Arquitectos (ou por outros especialistas). Na perspectiva deste autor, a Arquitectura vernacular, ao contrário da erudita, na escolha das suas formas e uso dos materiais resultaria de uma série de convenções estruturadas localmente, sendo a função o requisito dominante.

A importância de um aspecto funcional determinante na escolha da madeira como material de construção pode ser ilustrada pelo contexto Holandês, onde o seu uso foi generalizado pelo menos até 1650). Apesar de se estar perante um território com uma floresta pobre, a necessidade funcional de desmontar e montar as casas (e também os moinhos) levou os Holandeses a adoptar a madeira como material fundamental na construção (Hansen, 1971, p. 121). A leveza da madeira e os respectivos métodos de construção, com ligações secas remete-a para organizações e processos mais dinâmicos. Poderá assim ser feita uma associação entre materiais e modos de vida: a madeira vocacionada para a cultura nómada e a pedra ou o tijolo para as culturas sedentárias (Hansen, 1971).

A ideia de transitoriedade poderia contribuir também para a aceitação da madeira em zonas fustigadas pela insegurança e pela guerra. Na Acádia Canadiana, uma zona politicamente instável e sujeita a constantes ataques e pilhagens, os habitantes terão sido conduzidos a apostar em estruturas simples e de materiais menos duráveis. Este era um território onde os colonos não construíram casas de pedra como o fizeram os colonos do Quebeque, preferindo as técnicas da *colombage bousillé* (“wattle and daub”) e da “*pièce sur pièce à queue d’arronde*” (toros com encaixe de cantos em cauda de andorinha) (Kalman, 1995, p. 87). Já na Nova Scotia, a colonização realizou-se com uma perspectiva de segurança e protecção contra os ataques recorrendo a uma fortificação de madeira com toros verticais (“*palisade*”), escolhendo-se para as casas construídas fora da fortificação o sistema de toros horizontais. O

<sup>36</sup> A vila imperial Katsura construída como lugar de retiro da corte Japonesa, serviu de inspiração para Bruno Taut e Walter Gropius.

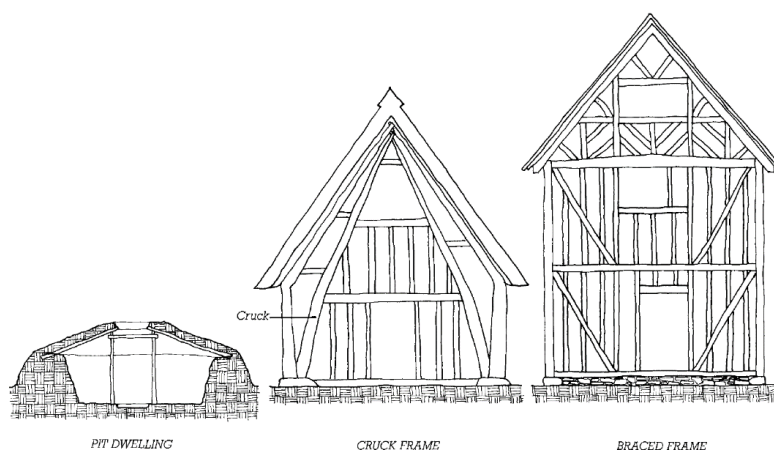


Fig. 79 - Explicação funcional da evolução da construção em madeira, baseada no aumento de pisos (Allen & Iano, 2008).

governador que promoveu a colonização, aconselhou explicitamente a construção em toros porque no seu entendimento oferecia maior segurança contra os mosquetes que eram “a única artilharia que os índios poderiam utilizar” (Kalman, 1995, p. 105).

As alterações nas práticas humanas colocam problemas que na sua resolução contribuem para a evolução técnica dos sistemas construtivos, ou seja as utilizações mais exigentes promovem estruturas mais avançadas. Brunskill (2000, p. 56) refere que as estruturas reticuladas tipo “gaiola” (*box frame*) surgiram preferencialmente em edifícios urbanos e associadas a usos mais exigentes. A melhor resposta dada pela “gaiola” terá contribuído para o abandono dos porticados ogivais em Inglaterra que limitavam as dimensões e o número de pisos dos edifícios. Essa parece ser a lógica seguida por Allen e Iano (2008, p. 137) quando exemplificam a evolução da construção de madeira com três estágios (cf. Figura 79): os abrigos térreos escavados no solo com reticulados leves, as habitações de reticulados pesados básicos tipo “*cruck-frame*” que permitiam dois pisos e finalmente os porticados elaborados, tipo “*braced frame*” ou “*box-frame*”, que permitiam mais pisos, ou seja a necessidade de crescer em altura terá conduzido a um processo natural de inovação tecnológica.

Determinados tipos de estruturas ficam associadas a contextos específicos, onde é possível estabelecer a relação entre a forma e a sua utilização. Os reticulados pesados na Inglaterra associam-se mais às pequenas e médias comunidades agrícolas relativamente isoladas, aplicando-se a edifícios de relativamente reduzidas dimensões (dois a três pisos). Em França e na Alemanha, os reticulados pesados, a partir do século XVI eram mais associados aos edifícios urbanos das classes médias emergentes. Normalmente estes edifícios faziam parte de conjuntos ou bandas de quarteirões urbanos. As coberturas tinham grande inclinação como resposta ao clima e como resposta funcional, já que sob elas se aproveitavam normalmente ainda dois ou três pisos. Numa fase inicial os edifícios tinham em geral as fachadas de empena triangular para a rua principal, com os beirados para as ruas laterais. Posteriormente, a necessidade de obter mais espaço para acolher os ofícios e para alojar os aprendizes e com a consequente procura de mais iluminação para os pisos superiores, os beirados voltaram-se para as ruas, abrindo-se mansardas nas coberturas (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

Os povos Sami (Lapões) nativos dos territórios do norte da Noruega, Suécia, Finlândia e Rússia recorriam inicialmente a reticulados leves, revestidos a terra, para construir as suas habitações de Inverno (*gamme*) com planta circular e forma semiesférica. Mais tarde, grupos



“Sami sedentarizados”, promoveram abrigos em que a ocupação era partilhada com o gado. Esta utilização obrigou ao aumento das dimensões da construção tendo a sua forma passado a ser rectangular e passando os reticulados a ser pesados, persistindo no entanto o revestimento em terra. Já o “Sami nómadas” do norte da Noruega desenvolveram abrigos transportáveis (*Goatte*) construídos com reticulados leves e revestimentos têxteis, podendo ser montados e desmontados em cerca de 30 minutos (May, 2010a). Também o Yurt utilizado pelos turcos e pelos árabes do Afeganistão e o Ger mongol, são exemplos óbvios do apuramento de um sistema que pode responder à forma de vida de uma dada comunidade. No caso do Ger mongol, do qual há indícios já no século 4 AC, para além da resposta ao clima agreste de temperaturas que chegam aos -50°C, vento, neve e chuva, há a resposta funcional que consiste na concepção de uma estrutura com 3,70m de diâmetro que pode ser montada e desmontada rapidamente e transportada num cavalo (King, 2014).

Se considerarmos a funcionalidade de um ponto de vista amplo, incluindo as exigências de manutenção e higiene, é exemplar como esses requisitos intervêm no processo de decisão de uma família de colonos americanos provenientes do Illinois e instalados em 1906 em Alberta. A família Roberts começou por viver numa tenda como o faziam muitos colonos, antes de terem um abrigo mais sólido. Depois viveram numa cabana de reduzido custo e ainda muito pequena, com montantes verticais e pranchas de reduzida espessura onde, segundo Sarah Roberts, a testemunha, seria impossível sobreviver durante o Inverno. Segundo ela, a decisão de construir uma casa de toros verticais foi feita com racionalidade:

*“We had at first intended to build a sod house, but the more I knew about sod houses the more I was convinced that I could not be satisfied with one. They are warm and cheap, but they are very hard to keep clean (...) Most of the homesteaders who have money enough to do so build frame houses (...) We had no money with which to buy lumber, so a frame house was out of question for us. We therefore decided to build a log house (...) As there were no logs large enough or straight enough to build a house of the usual style, with the logs laid horizontally, it was decided to dig a trench, put two rows of smaller logs in it vertically, and fill the spaces between them with mud”.* (Kalman, 1994, p. 503)

A solução revelou-se construtivamente deficiente e no final decidiram abandonar esta casa e construir uma casa de turfa com paredes de 70cm de espessura (Kalman, 1994).

#### 1.1.3.5 RESPOSTA À DEGRADAÇÃO

No caso da madeira em especial, o requisito da durabilidade conduz em muitos casos à necessidade de definir medidas de protecção<sup>37</sup> que têm um impacto significativo na forma construída. Tal como Rapoport (1969, p. 114) refere, a importância da durabilidade das construções, no universo primitivo não seria tão importante como no vernacular já que em geral os edifícios tinham um tempo de vida limitado, sendo frequentemente abandonados ou destruídos quando os habitantes morriam.

A evolução estrutural do sistema de reticulados pesados está relacionada com a sua optimização. Inicialmente (séculos XI e XII) os elementos verticais, formados por troncos grosseiramente esquadriados, eram cravados directamente no solo, sendo o preenchimento executado com um entrelaçado de tiras de elementos de madeira de muito reduzida secção ou de canas. Sobre este suporte era aplicada uma argamassa de argila e palha ou um reboco de cal. A primeira evolução terá consistido em ampliar a durabilidade dos elementos verticais, construindo uma série de fundações pontuais de pedra (Benson, 1977, p. 6) ou um soco de

<sup>37</sup> Rapoport refere o cuidado com que em algumas regiões se fazia o tratamento da madeira. O uso de vários revestimentos protectores tais como misturas de fuligem e sumo de dióspiro no Japão ou ferrugem e leite desnatado nos celeiros americanos. No Japão, a madeira chegava mesmo a ser carbonizada e nos EUA os soletos de madeira eram imersos em água salgada durante várias semanas (Rapoport, 1969, p. 114).

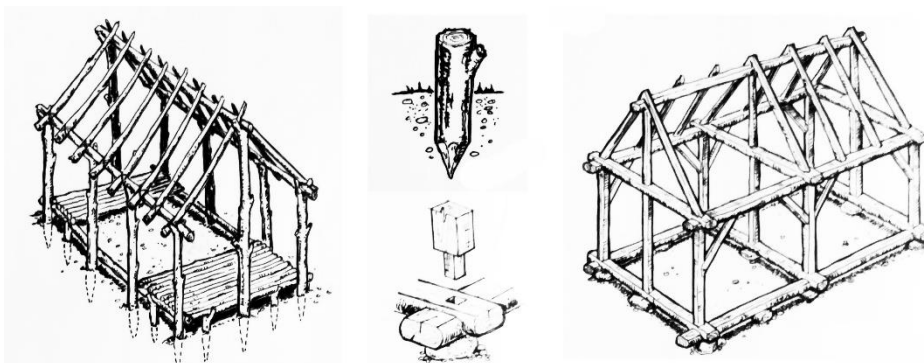


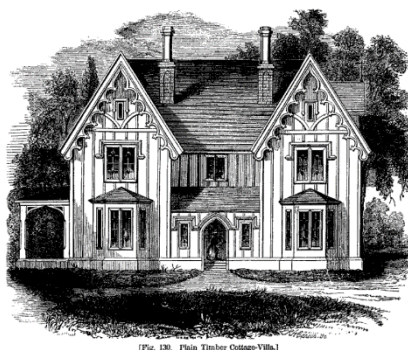
Fig. 80 - Evolução das fundações. Das estacas directas à viga de soleira sobre apoios de pedra (Benson, 1977).

alvenaria sobre o qual eram colocados os postes (cf. Figura 80). Mais tarde terá sido colocada uma travessa de pavimento ou de soleira à qual os postes eram ligadas através de juntas. Este processo protegia a extremidade dos postes (a parte mais vulnerável) das humidades ascensionais e transmitia as cargas ao solo através de uma superfície maior, ou seja através do soco de alvenaria, embora a estabilidade fosse naturalmente afectada. Em alternativa ao soco de alvenaria, por vezes o piso inferior era integralmente construído em pedra ou tijolo (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 55).

O fim dos postes cravados no solo exigiu repensar a estrutura como um todo para conseguir maior resistência aos esforços horizontais. As Minka do Japão também eram inicialmente construídas com os postes cravados entre 60cm a 80cm no solo, mas com o tempo percebeu-se que embora a estrutura inicial parecesse ter uma grande estabilidade, a sua durabilidade era muito curta. A evolução natural consistiu em construir fundações através de uma escavação com uma base de pedras de pequenas dimensões sobre a qual se colocava uma outra base de gravilha e finalmente uma pedra maior (normalmente recolhida nos rios) que ficava elevada do solo e sobre a qual assentavam os postes. Outra alternativa que se tornou comum em meados do século XVIII, facilitando o nivelamento dos pilares e proporcionando um meio de travamento adicional, consistia em construir uma fundação contínua de pedras sobre a qual se montava uma viga de soleira (Kawashima, 2000, pp. 72, 73).

No Reino Unido, desde a pré-história até à Idade média, a madeira foi utilizada de forma generalizada, excluindo-se algumas tipologias como as igrejas, os castelos e muitos dos palácios que eram construídos em alvenaria de pedra. Os edifícios destas épocas que sobreviveram até hoje inserem-se numa área circunscrita ao sul de Inglaterra e a algumas zonas de Gales, restando poucos exemplares na Irlanda e na Escócia. As razões apontadas por Hansen (1971) para o desaparecimento das estruturas de madeira nessas regiões residem, não na fragilidade do material, mas também nos deficientes métodos de construção adoptados. Para fazer face às forças do vento, os postes verticais eram cravados no solo até entre 60cm a 90cm de profundidade, sendo depois a terra compactada em redor. Assim, a humidade limitava naturalmente a vida útil dos elementos estruturais e consequentemente a dos edifícios.

Segundo Hansen (1971), quando a degradação afectava diversos elementos estruturais, não valia a pena substituí-los porque a fraca execução da restante estrutura não o justificava. A deficiente construção destes edifícios iniciais pode ser verificada a partir dos vestígios das distâncias irregulares entre os principais elementos estruturais e da ausência de relações claras entre estes postes e as paredes laterais e de topo. Estas irregularidades revelam também a ausência de pré-fabricação e de precisão nas ligações entre elementos. Os



[Fig. 130. Plain Timber Cottage-Villa.]

Fig. 81 - "Plain timber cottage villa" A. J. Downing  
The Architecture of Country houses, 1850 (Kalman,  
1994).



Fig. 82 - Greensted Church em Essex com estrutura de  
madeira - Cerca de 1013  
(<http://www.photosofchurches.com/images/England/Essex,%20Ongar,%20Greensted%20Church.jpg>).

edifícios que sobreviveram na Inglaterra e no País de Gales devem-no a uma alteração técnica realizada durante o século XII através da qual, os postes passaram a ser colocados sobre bases de pedra, com ou sem a interposição de uma viga de base (*sill-beam*). Esta evolução terá tido como consequência a necessidade de aperfeiçoar a estrutura<sup>38</sup>, como aconteceu com as Minka, para obter uma maior rigidez estrutural. Diz Hansen (1971):

*"Simple though the change sounds, it was a technical revolution". (Hansen, 1971, p. 69)*

Em Inglaterra, as Igrejas e as habitações de madeira coexistiram durante um certo tempo, mas só nestas últimas houve continuidade. Para além de motivações culturais relacionadas com o desejo de uma mais óbvia monumentalidade oferecida pela pedra, a razão desta interrupção deveu-se também ao abandono e destruição progressiva das igrejas de madeira como consequência da falta de durabilidade das soluções. Das antigas igrejas de madeira inglesas só restou a Greensted Church em Essex, construída por volta de 1013 (cf. Figura 82). O desaparecimento das igrejas de madeira deve-se também, segundo Hansen, à solução de cravar os respectivos postes directamente no solo, sujeitando-os a teores de humidade propícios à podridão. Ao contrário do que aconteceu por exemplo na Noruega, a solução depois adoptada pelas habitações para aumentar a sua durabilidade, com um frechal ou viga de pavimento sobre bases de alvenaria, não foi adoptada nos edifícios religiosos, passando então no século XVI a preferir-se a pedra, abandonando-se definitivamente a madeira (Hansen, 1971, p. 70).

A procura da durabilidade conjugada com uma perspectiva estética pode conduzir a soluções singulares como aconteceu com a casa de troncos construído a norte de York pelo Governador John Graves Simcoe em 1795. Este inspirou-se nas disposições do templo grego colocando pilares no exterior do perímetro construído e incluindo uma cobertura projectada, mas motivado pela consciência de que a madeira tinha uma durabilidade limitada decidiu optar por um solução que possibilitasse a substituição dos componentes:

*"It is... built on the plan of a Grecian temple, total of wood the logs squared & so grooved together that in case of decay any log maybe taken out. The large Pine trees make pillars for the porticos which are at each end 16 feet height" (Kalman, 1995, p. 162).*

Presume-se que nesta solução a forma de ligação dos toros seria do tipo encaixe à meia madeira (*simple lap*), sem cavilhas, uma vez que o encaixe do tipo sela ou cauda de andorinha dificultaria, ou tornariam mesmo impossível, a remoção e substituição dos componentes (embora melhorasse as ligações).

<sup>38</sup> Esta mudança no processo de construção terá acontecido primeiro nos edifícios das classes com maior poder económico e só mais tarde nas restantes.

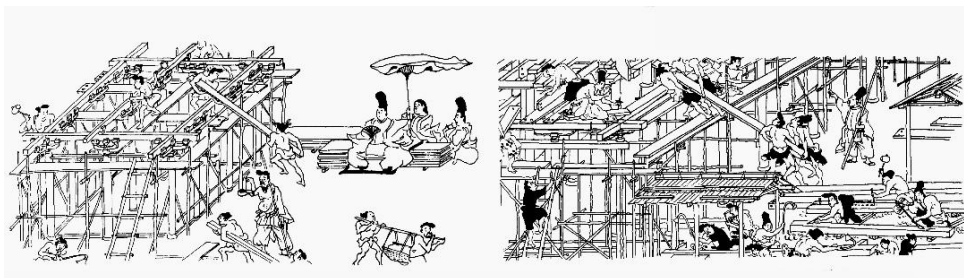


Fig. 83 - Obras de carpintaria das lendas de Matsuzaki Tenjin Shrine (Hozumi, 1985).

Outro exemplo de como a argumentação da durabilidade pode ser associada à componente estética surge no livro de padrões *“Architecture of country houses”*. Downing, o seu autor, para justificar a solução de revestimento em régua vertical com mata-juntas diz que a solução é mais adequada que a de régua horizontal (cf. Figura 81):

*“(…) not only because it is durable, but because it has an expression of strength and truthfulness which [horizontal siding] has not. The main timbers, which enter into the frame of a wooden house and support the structure, are vertical, and hence the vertical boarding properly signifies to the eye a wooden house”* (Kalman, 1994, p. 605).

#### 1.1.3.6 EFICÁCIA TECNOLÓGICA

A necessidade de aumentar a área ou a altura de um espaço resulta normalmente de um imperativo funcional, mas na tentativa de desenvolver novas soluções que respondam a um desses desafios<sup>39</sup>, é avaliada a eficiência estrutural dos diferentes materiais disponíveis e a existência de meios tecnológicos para concretizar essas soluções. Por exemplo quando se parte de uma solução conhecida de porticados leves e se pretende aumentar os vãos estruturais para obter mais espaço habitável, a resposta mais evidente consistirá na introdução de pilares internos e no desenvolvimento de coberturas mais escoradas. Os pilares internos poderão entretanto colidir com as exigências funcionais pelo que as possibilidades seguintes consistem em experimentar componentes com maior resistência e por isso com maiores secções ou componentes de menor secção e menos espaçados formando elementos reticulados. Esses passos no entanto exigem que os agentes envolvidos tenham o conhecimento, os meios e as ferramentas para inovar, ou seja um conjunto de factores que podem ser agrupados num único: “eficácia tecnológica”<sup>40</sup>. Entretanto se nenhuma das soluções resolve o problema, porque não há ferramentas para produzir componentes eficazes, ou porque não há matéria-prima disponível com as dimensões e características necessárias, ou porque a madeira simplesmente não é o material mais adequado, irão decerto ensaiar-se outros materiais.

No contexto primitivo e vernacular, as cabanas circulares foram utilizadas muito frequentemente pela sua facilidade de construção e eficácia. Rapoport diz que estes abrigos, normalmente construídos com elementos de madeira de reduzida secção e outros elementos vegetais (reticulados leves básicos), chegavam a atingir 18 metros de diâmetro (na América do Sul, Indonésia e África), estando a sua rigidez dependente dos revestimentos adoptados. O aumento da área destes abrigos era conseguido mediante o desenvolvimento de reticulados mais sofisticados, ou através da introdução de um poste central (Rapoport, 1969, p. 117), ou ainda recorrendo a um anel intermédio de postes. A evolução desta forma para

<sup>39</sup> As evoluções tecnológicas na habitação são por vezes resultantes da aplicação de conhecimentos obtidos noutros tipos de edifícios. Assim, por exemplo, as igrejas do século XIII colocaram o problema de vencer grandes vãos produzindo-se soluções engenhosas que depois foram adaptadas para a escala doméstica (Hansen, 1971, p. 70).

<sup>40</sup> O determinismo dos materiais, da construção e da tecnologia na forma arquitectónica é relativizada por Rapoport (Rapoport, 1969, p. 24). Segundo ele, este “determinismo” falhará na tentativa de explicação de muitas situações em que um determinado povo conhecedor de uma solução eficaz persiste em utilizar soluções tradicionais, aparentemente inferiores. Um exemplo claro é o dos egípcios que raramente utilizavam a abóbada por ser esta oposta ao seu conceito de construção.

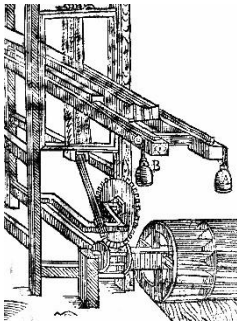


Fig. 84 - Serração Hidráulica na Virgínia 1650 (Shurtleff, 1967).

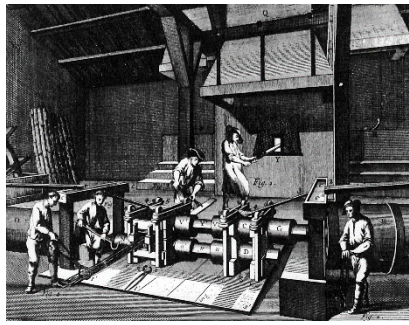


Fig. 85 - Fabrico de varões convertíveis em pregos. Enciclopédia de Diderot (Rempel, 1972).

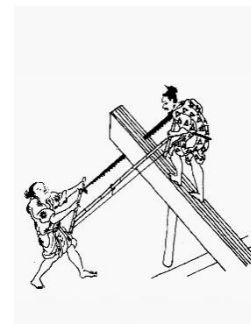


Fig. 86 - Serradores japoneses. "Concurso de poemas de 32 rounds" (Hozumi, 1985).

formas rectangulares dá-se quando surge a necessidade de agrupar ou ampliar os espaços, uma vez que para este propósito as formas curvas não se mostravam tão adequadas. Verifica-se que nas construções rectangulares a sua dimensão (a menor dimensão) é muitas vezes limitada à dimensão dos componentes e ao potencial de resistência da estrutura aos esforços horizontais.

Rapoport (1969, p. 117) refere que a madeira foi um material sempre muito utilizado, não apenas porque a floresta fornecia uma matéria-prima de fácil acesso, mas também porque a sua resistência à tracção permitia responder bem ao desafio de alcançar espaços maiores e mais desobstruídos. Sem as suas características físicas de elasticidade e elevada resistência em relação ao peso, o seu êxito não teria sido tão grande. A sua boa resistência à tracção e compressão e a possibilidade de combinar compressão e flexão fizeram com que fosse adoptada como pilar, viga ou asna (Raeburn, 1986) (Pryce, 2005). Mas a durabilidade, a combustibilidade e a resistência inferior comparativamente a outros materiais constituem limitações óbvias que irão explicar ao longo da História a sua substituição por outros materiais com melhor desempenho.

A construção como resultado do pensamento racional do homem na resolução do problema de cobrir um espaço para se proteger do ambiente exterior levanta primeiro o problema dos materiais e depois o problema da sua utilização. Cada material tem a sua apetência em termos de resistência aos esforços: de compressão, de flexão ou de tracção. No caso da madeira as estruturas reticuladas e porticadas dependiam em grande parte do bom comportamento da madeira à flexão, enquanto no caso da pedra as estruturas de blocos dependiam da resistência à compressão. O problema de cobrir um espaço resultou então em duas linhas de desenvolvimento: por um lado as coberturas trilíticas adequadas à madeira e por outro as coberturas em arco (e por consequência em abóbada) adequadas à pedra (Nuttgens, 1993). Até 1800 as estruturas de madeira, serão adoptadas como a solução normal para coberturas porque estas demonstravam inequivocamente uma maior eficácia tecnológica (segurança estrutural com menos material e menos peso). Raeburn (1986) sugere que o problema da cobertura teve na asna triangular a resolução mais racional, limitando-se apenas a sua utilização ao comprimento e secção dos elementos de madeira disponíveis. As alternativas com abóbadas de pedra ou de tijolo eram mais pesadas, implicavam mais mão-de-obra e em princípio eram mais dispendiosas.

A evolução das soluções construtivas exige normalmente a utilização de instrumentos de trabalho mais elaborados. Por vezes é a necessidade de novos sistemas construtivos que suscita a utilização ou invenção de novos instrumentos, mas noutras situações é a pré-existência de uma ferramenta que promove a introdução de métodos que conduzem à invenção de novos sistemas construtivos. A primeira situação ocorreu por exemplo no Japão

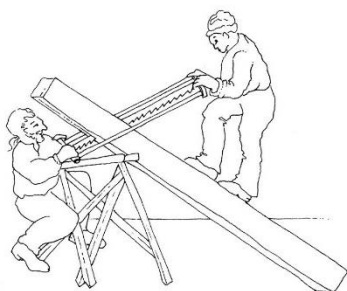


Fig. 87 - Parelha de serradores (Lyon, 2006).

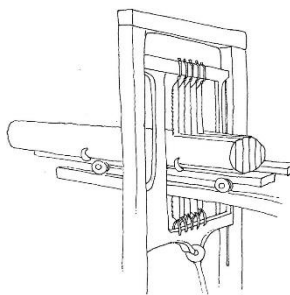


Fig. 88 - Serração mecanizada hidráulica com cinco serras (Lyon, 2006).

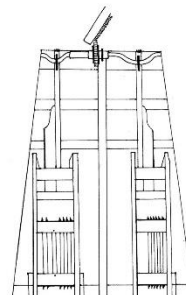


Fig. 89 - Esquema de serração mecanizada Heólica com 12 serras (Lyon, 2006).

Medieval (sécs. XIII-XVI) quando se assistiu a uma escassez de madeira que dificultou a obtenção dos componentes de grande secção utilizados tradicionalmente (período clássico - sécs. VIII-XII). Perante esta situação, terão sido efectuadas alterações nas ferramentas utilizadas e nas metodologias, introduzindo-se a “serra de dois homens” (cf. Figura 86) e a mesa de aplainar (uma prancha de madeira com uma lâmina saliente), que possibilitaram a fabricação de peças mais delicadas e mais leves, ultrapassando-se os antigos processo de fractura da madeira com cunhas, e o uso de enchós e lâminas mais rudimentares (Hozumi, 1985, p. 33). A situação oposta ocorreu com os índios Miwok que não conseguiam aproveitar as Redwoods Californianas simplesmente porque não tinham os instrumentos necessários para as transformar. Apesar de disporem de um material tão bom, os seus abrigos apenas recorriam à madeira residual dos ramos que caíam das árvores e às faixas da casca que era extraída do tronco (Oliver, 1987, p. 58).

A História da Arquitectura em madeira na Holanda é curiosa porque apesar de ser, como já foi referido, um país sem grandes recursos florestais tem um passado de uso intensivo da madeira na construção. Tradicionalmente a madeira chegava à Holanda vinda através dos cursos de água que desaguavam no mar do Norte, sendo também importada de África e da América. A ocupação Espanhola do século XVI terá deixado os Países Baixos devastados e com uma necessidade de madeira tanto para a construção civil como para a construção naval. A recuperação dos Holandeses foi realizada com base na experiência anterior e numa tradição de comercialização, transformação e armazenamento de madeira. Para além dos serradores terem desaparecido da maior parte das cidades Holandesas durante o período da revolta contra Espanha, as opções tradicionais de utilizar a força motriz da água ou animal (cavalos ou bois) não era viável no país. A larga experiência ganha na tecnologia dos moinhos de vento dedicados aos cereais foi aproveitada para converter esses mesmos moinhos com o objectivo de produzir madeira serrada. Assim, a madeira que anteriormente era serrada mediante o processo tradicional com dois serradores e com o apoio de uma armação de madeira, foi substituído por uma serração mecânica (cf. Figuras 88 e 89) através da qual se reduzia a mão-de-obra e o custo do trabalho e se aumentava substancialmente a produção. Por outro lado, com a serração mecânica ampliava-se o leque de opções construtivas uma vez que o esforço humano limitava algumas soluções de serração, nomeadamente quando se pretendia utilizar madeiras como o Carvalho (Lyon, 2006).

A evolução da cabana de paredes pesadas de toros básicos para os toros elaborados implicou também uma mudança nas ferramentas de transformação da matéria-prima. O machado era a ferramenta necessária e suficiente para descascar os toros e para fazer as ligações de canto, mas só com a utilização de serras e com o esquadriar preciso dos toros foi possível dotar este sistema construtivo do rigor necessário a requisitos de estanquidade mais exigentes. Para além da eficácia tecnológica em termos de ferramentas, o apuramento do

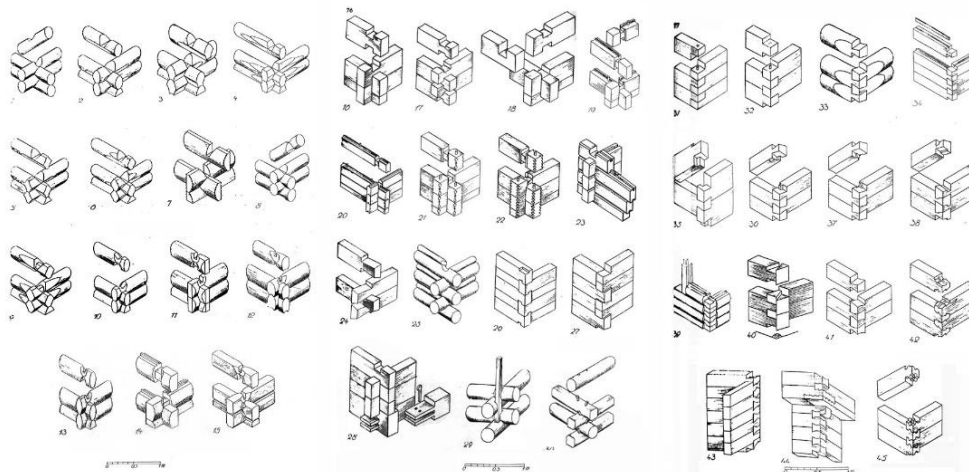


Fig. 90 - Tipos de ligação nos cantos do sistema de paredes pesadas com toros (Phleps, 1982).

sistema de toros exigiu uma melhoria do conhecimento técnico especializado dos carpinteiros para levar a cabo uniões de canto mais complexas (cf. Figura 90).

No século XVI e XVII os primeiros colonos que se instalaram na América do Norte utilizaram os materiais que se encontravam à mão, sendo a madeira o material mais óbvio devido à sua abundância. Mas nos séculos XVIII e XIX a quantidade cada vez maior de imigrantes conduziu a um processo acelerado de urbanização e industrialização que conjugado com a falta de mão-de-obra especializada pressionou os construtores para construir com mais rapidez e eficácia. A resposta a essa pressão surgiu no início do século XIX com duas invenções que permitiram aumentar o rendimento do trabalho, suplantando a mão-de-obra tradicional: a serração mecânica a vapor e a produção industrial de pregos (cf. Figura 85). A primeira permite cortar madeira mais rapidamente, baixando-lhe o custo. A segunda, faz baixar o preço dos pregos que muitas vezes não se utilizavam porque, sendo produzidos através de forja manual, tinham um custo muito elevado. Estes novos instrumentos para além de serem propícios à industrialização da construção são compatíveis com um sistema de componentes leves serrados como é o “balloon-frame”. Fácil de entender, o princípio construtivo remete para a técnica das madeiras longas, com montantes da altura total da casa e pouco distanciados entre si. A estrutura cujos elementos são ligados por pregos, é revestida com pranchas horizontais que reforçam a rigidez da estrutura. Mais tarde, a técnica evoluirá para elementos de madeira mais curtos, da altura de um andar, formalizando-se a técnica do *platform-frame*: a técnica hoje mais utilizada no mundo (Provost, 2010) (Turan, 2009).

As regiões com limitados recursos ou com necessidades extraordinárias de madeira, (motivadas por exemplo pela guerra), eram obrigadas a recorrer às importações como acontecia especialmente com as potências coloniais e com a Inglaterra em particular. A comercialização da madeira, principalmente antes do desenvolvimento dos caminhos-de-ferro, estava dependente do transporte marítimo, mas nas regiões produtoras, a obtenção da madeira estava em grande parte condicionada, não apenas pela existência da floresta, mas pelas condições naturais do território: clima adequado, rios, vias cobertas de gelo e bacias portuárias. Mesmo países com florestas abundantes estavam dependentes dessas condições para que o seu transporte chegasse aos destinos onde ela era necessária. Remontando pelo menos ao século XIV, desenvolveu-se em redor do Báltico toda uma cadeia de produção que estava montada de modo a que a madeira pudesse chegar a regiões muito distantes do ponto de origem da matéria prima (Lower, 1973).





Fig. 91 - Transporte de toros em trenós. Rio Ottawa, 1871 (Lower, 1973).

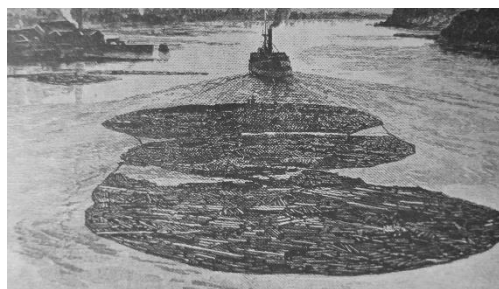


Fig. 92 - Transporte de madeira no rio Ottawa, 1859 (Lower, 1973).

Nos climas frios, onde as principais florestas produtoras se localizavam, o abastecimento de madeira consistia numa tarefa sazonal. A madeira era cortada pelos lenhadores (*"square-timbermans"*) no Inverno, na altura em que as superfícies geladas podiam suportar o deslizamento dos toros, puxados por animais, até um curso de água. Os toros eram depois transportados ao longo dos rios em grandes quantidades para um entreposto de recolha, armazenagem e distribuição que se situava normalmente numa bacia portuária. Este transporte por sua vez estava dependente do descongelamento dos rios e do fim dos períodos de cheias de Primavera. Em consequência, a transformação da madeira em componentes ocorria nas serrações durante o Verão, depois de recebida a matéria-prima. Nas regiões mais quentes, onde o gelo não permitia adoptar o eficaz processo de deslizamento dos toros através das vias geladas, o abate de árvores para comercialização estava dependente da proximidade entre as manchas florestais e os rios (Lyon, 2006).

Entre o século XVIII e a actualidade, a tecnologia da construção em madeira assistiu a avanços muito significativos (cf. Figura 93), incluindo os avanços empíricos nas estruturas de pontes de madeira com a família Grubenmann, o desenvolvimento do cálculo de estruturas no século XIX, a execução de arrojadas construções, o desenvolvimento da madeira lamelada colada por Otto Hetzer, e a invenção de variados produtos derivados de madeira ao longo do século XX. No entanto estes avanços tecnológicos não impediram a tendência para a redução do seu uso devido à adopção de novos métodos e materiais, apenas com excepções para os períodos das duas guerras mundiais. Será apenas a partir dos anos 80 do século XX que as preocupações ambientais invertem a tendência (Kolb, 2008). Ou seja, a eficácia tecnológica da madeira não permite por si só explicar os recentes avanços na sua utilização, tendo sido antes uma alteração cultural (a valorização da ecologia) a promover um acréscimo na sua utilização, impulsionando também várias inovações tecnológicas. Assim, tem lógica a argumentação de Rapoport (1969, p. 25) quando considera que os materiais de construção e a tecnologia são modificadores, mais do que determinantes.

#### 1.1.3.7 EFICÁCIA ECONÓMICA

O princípio da eficácia económica manifesta-se tanto no momento da escolha de um sistema construtivo destinado a preencher um conjunto de requisitos como quando se efectuem melhorias ou se inventam novos sistemas construtivos com o objectivo de reduzir os custos da sua produção, mantendo ou até melhorando a sua qualidade em relação à solução que é substituída. A escolha do tipo estrutural com base no seu custo era por exemplo uma situação corrente no processo de colonização inicial de Ottawa no Canadá. Richie (1979) refere que a forma dominante de construção nesse período inicial correspondia às paredes pesadas de toros (em diversas formas, incluindo as tradicionais da Nova França), porque a construção reticulada era muito mais cara. Doze homens conseguiam construir uma casa de toros num dia com custos que variavam em 1855, entre 5 e 50 libras, em comparação com os custos



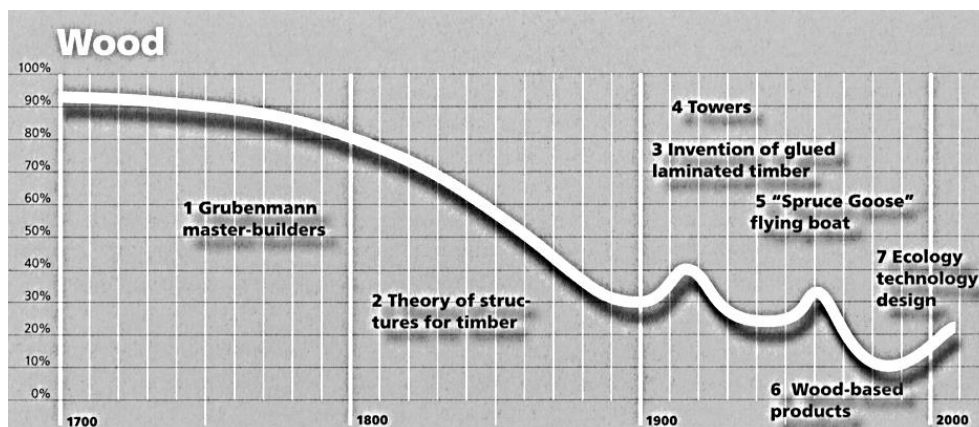


Fig. 93 - Desenvolvimentos da tecnologia da madeira (timber engineering) e uso da madeira entre o século XVIII e actualidade segundo Joseph Kolb (Kolb, Systems in timber engineering, 2009).

das casas com sistemas reticulados leves (recorrendo a madeira que tinha que ser serrada) que custavam entre 75 e 300 libras (Richie, 1979).

Por vezes os custos eram ainda mais reduzidos porque as famílias vizinhas ajudavam a construir as casas de toros já que o machado, ao contrário da serra, era um instrumento ao alcance de todos (Kalman, 1995, p. 163). Para além dos custos mais reduzidos, a construção em toros oferecia um processo racional cuja economia resultava, como foi referido, da obtenção da madeira que resultava da limpeza do lote (Richie, 1979). A casa de toros era no entanto uma solução transitória cuja evolução dependia do sucesso económico do colono:

*"When the inhabitant of a log house accumulated enough capital to afford the materials and the labour for a new dwelling, he usually built a frame home or a masonry house and relegated the original one to the role of an out building" (Kalman, 1995, p. 163).*

Também Sigfus, um filho de emigrantes Islandeses, que construiu uma casa de toros no Minesota em 1890, confirmou nos seus escritos o seu carácter transitório:

*"Nearly all of our neighbours had similar houses, but as soon as they had the means, most of the settlers built frame houses" (Weslager, 1969, p. 79).*

Um outro caso em que se verificou que os custos estiveram na base da substituição de um material por outro foi o da adopção generalizada de chapas metálicas onduladas na Islândia, uma solução que transformou o carácter da paisagem construída. Ao contrário dos outros países nórdicos, a Islândia não tinha matéria-prima suficiente para responder à construção de casas de madeira. Assim, no final do século XIX, começaram a adoptar-se casas pré-fabricadas de madeira provenientes da Noruega. Mas como essa solução se revelou muito dispendiosa, introduziu-se a solução mais económica das chapas onduladas que depois eram pintadas, originando um resultado semelhante aos revestimentos de pranchas verticais com mata-juntas (Donnelly, 1992, p. 61).

A evolução das estruturas reticuladas ilustra exemplarmente os casos em que a eficácia económica conduz à inovação. Segundo Turan (2009) ao longo da História as estruturas reticuladas desenvolveram-se quase sempre no sentido de procurar a necessária estabilidade e rigidez com menos materiais e menos trabalho. O equilíbrio entre a quantidade dos elementos de madeira e dos vazios entre componentes era o desafio que se colocava aos mestres carpinteiros que se centraram em desenvolver técnicas em que com o mínimo de madeira fossem concretizadas as mesmas funções estruturais e as mesmas formas espaciais (Provost, 2010).

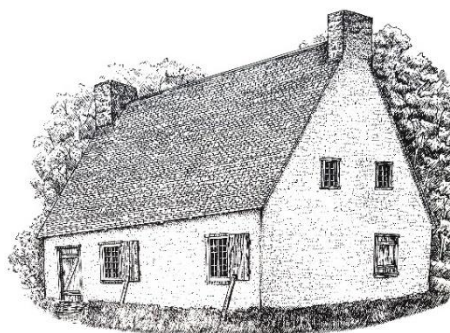


Fig. 94 - Casa construída em alvenaria em Cap Santé, Canadá, início do séc. XVIII (Moogk, 1977).

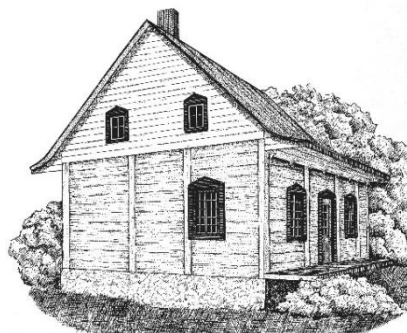


Fig. 95 - Casa construída no sistema "pièces-sur-pièces" em Oka, Canadá, séc. XIX (Moogk, 1977).

A redução dos custos das soluções tem, como já foi referido, na introdução generalizada dos pregos nos sistemas construtivos um momento importante. Uma parte muito significativa do trabalho especializado dos carpinteiros nos sistemas de reticulados e porticados pesados era a da execução das ligações entre componentes através de encaixes do tipo macho-fêmea. As ligações através de pregos metálicos conduzem a uma redução substancial do tempo despendido na construção de estruturas, não se exigindo também uma mão-de-obra tão especializada. A introdução de pregos nas ligações e a maior leveza das estruturas será uma tendência que pode ser acompanhada através da análise de vários tratados<sup>41</sup> como os de Price de 1733, de Tregold de 1820 e até no de Moxo (1677) (Turan, 2009). O tratado de Tredgold, *"Elementary principles of carpentry"*, por exemplo, propõe já uma evolução tecnológica no sentido da simplificação dos reticulados que antecipam o *"balloon-frame"*. Propõe-se por exemplo um sistema de planos com uma malha homogênea de elementos estruturais de reduzidas secções que substitui o sistema tradicional hierárquico de elementos pesados e elementos leves (Turan, 2009).

Os sistemas construtivos se analisados na perspectiva do critério económico podem ser hierarquizados numa escala que para além do custo reflecte também uma diferenciação social dos habitantes. Uma vez que em alguns casos, como no Canadá do século XIX, as taxas a aplicar às habitações eram baseadas no sistema construtivo, é possível obter com clareza informações sobre a diferença entre o significado de habitar uma casa de toros ou uma casa de pedra. As casas no Upper Canada (Ontário) eram taxadas com base num Acto (Lei) de 1807 que identificava por ordem crescente do valor as seis categorias de taxas a aplicar: 1) toros redondos; 2) toros esquadriados (com um piso); 3) toros esquadriados (com dois pisos); 4) porticado ou reticulado (com menos de dois pisos); 5) tijolo ou pedra de um piso com menos de duas lareiras; e 6) tijolo ou pedra de dois pisos com menos de duas lareiras (Kalman, 1995, p. 170).

Apesar das casas de toros redondos aparecerem normalmente na base da hierarquia das classificações de valor económico, a disponibilidade de ferramentas de serragem pode inverter essa avaliação, tornando-a numa solução dispendiosa:

*"Even where trees were available it does not necessarily mean that log houses were built, because a log house was considered by many builders to be wasteful of wood. The same number of logs needed to build a one-room cabin could be sawed into planks to construct two or more dwellings, and economic considerations discouraged the wasteful use of the whole log to construct house walls" (Weslager, 1969, p. 92).*

Ao contrário da situação anterior, em circunstâncias mais primitivas em que a ausência de instrumentos de corte e serragem impede a transformação dos toros em componentes mais

<sup>41</sup> Estes tratados incorporavam já um conhecimento experimental e teórico do cálculo de estruturas.

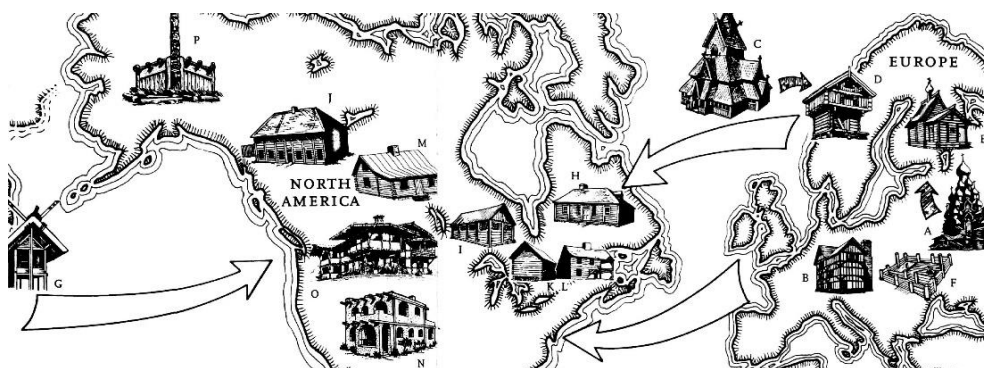


Fig. 96 - Formas arquitectónicas da Europa e da América do Norte (Mitchel, 1997, pp. 2-3). A - Igreja de toros na Rússia (1400 DC); B - Reticulados pesados elaborados na Europa Ocidental (1500 DC); C - Igreja Stave na Noruega (1000 DC) com porticados e pranchas entre os postes; D - Edifício rural *stav og laft* da Noruega e Suécia (1400 DC) combinando porticados e paredes pesadas; E - Igreja na Rússia ocidental; F - Paredes pesadas e postes verticais em Biskupin, Polónia (700 AC); G - Japão; H - *Pièce sur pièce*; I - *Red river frame*; J - Forte da Hudson Bay Company; K - Casa de paredes pesadas; L - Casa Porticada na Nova Inglaterra; M - Casa de toros redondos EUA; N - Porticado espanhol "mission style" (1800 DC); O - Porticado "Craftsman style" (1900 DC); P - "Long house Haida" (Mitchel, 1997).

leves, o uso de componentes aparentemente antieconómicos surge como um procedimento normal e lógico. Ulrich (2007) descrevendo as cabanas Romanas da idade do ferro do Palatino aponta o sobredimensionamento dos pilares de madeira da cabana (45cm de diâmetro) como tendo um motivo simples:

*"Practically speaking, time and effort were saved by not squaring the logs. Raw materials were plentiful. We may speculate however, that such massive trunks contributed to a sense of well-being and pride to these simple houses".*  
(Ulrich, 2007)

A ausência de ferramentas de serragem nem sempre foi limitadora da transformação dos componentes como sucedeu na Suécia, na zona de Sarna, onde uma versão do *heldus*, um dos tipos mais antigos no país, surge como uma cabana de toros em que estes são divididos ao meio por razões económicas (Hakansson, 2003).

#### 1.1.4 TRADIÇÕES REGIONAIS

A atenção às tradições regionais da construção em madeira permitem por um lado identificar as razões do predomínio de alguns sistemas e por outro lado reconhecer as influências culturais entre regiões. Com base numa síntese elaborada por Mitchel (1997, pp. 1-14) faz-se aqui uma introdução (centrada na Idade Média) às grandes regiões escolhidas para descrever os principais factos da construção em madeira na Europa, na América do Norte e no Extremo Oriente (Fig. 96) e cuja descrição mais detalhada se encontra nos anexos da tese.

Na Europa de Leste e na Rússia as vastas reservas de matéria-prima conjugadas com os rudimentares instrumentos de transformação de madeira conduziram à preferência pelas paredes pesadas (*log blockwork*). Com o machado como a ferramenta básica, as árvores eram abatidas e submetidas a uma transformação em que a integridade do fuste da árvore era preservada ao máximo. Na Europa Ocidental, mais povoada, a escassez da floresta fez-se sentir mais rapidamente conduzindo os grupos profissionais (as guildas) melhor apetrechados tecnologicamente a desenvolver métodos que recorriam a uma maior transformação das árvores, adoptando-se os sistemas de reticulados pesados elaborados (*fachwerk*), menos consumidores de madeira e integrando o contributo de outros materiais para o preenchimento das paredes (cf. Fig. 97).

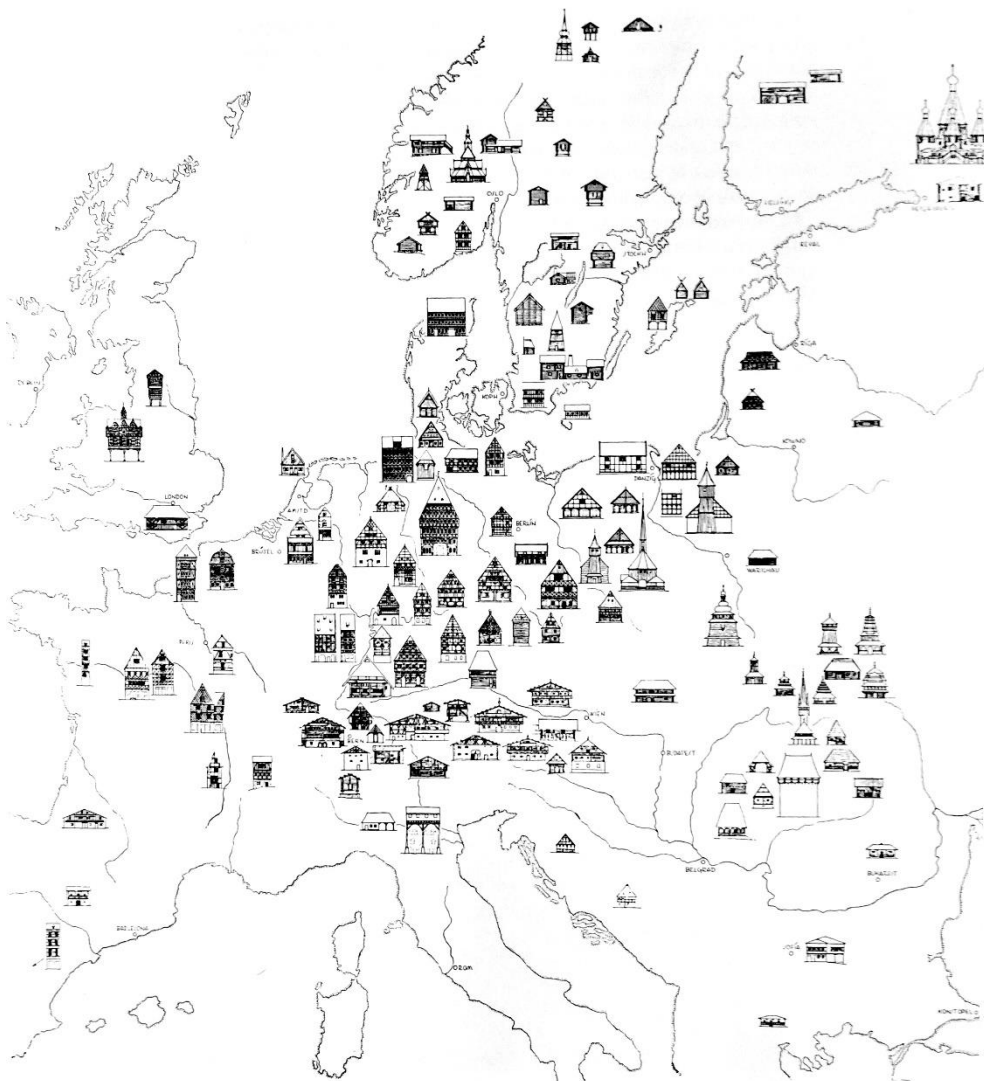


Fig. 97 - As tradições da construção em madeira na Europa (Phleps, 1982).

Na Escandinávia, localizada entre essas duas realidades (a Leste e a Sudoeste), sem escassez de matéria-prima e com ferramentas de transformação mais avançadas, conjugavam-se as influências culturais de ambos os lados. Esta circunstância justifica em parte a simultaneidade dos reticulados pesados e das paredes pesadas e o desenvolvimento dos porticados (*post and beam*). As vantagens dos porticados eram evidentes: não requeriam o elevado grau de transformação dos reticulados pesados e não limitavam as construções pelo tamanho dos toros nem pela dificuldade do seu transporte como acontecia na construção com paredes pesadas. O desenvolvimento de variações dos porticados, bem como a adopção de sistemas intermédios como os das paredes leves de pranchas foi o resultado da cultura Viking que integrava a mestria na construção naval com as várias influências culturais resultantes das suas navegações.

No Oriente desenvolveu-se principalmente a técnica dos porticados, justificada principalmente pela sua resposta óptima ao clima e pela possibilidade de conjugação com algumas formas de paredes pesadas.

Na América do Norte, adaptam-se as técnicas europeias às especificidades do contexto. As paredes pesadas de toros, "*pièce de bois sur pièce de bois*" substituem os reticulados pesados tipo "*colombage*" no Canadá e os porticados substituem os reticulados pesados

Inglese nos EUA. Os abrigos em paredes pesadas de toros, introduzidos pelos Suecos, são adoptados no “Novo Mundo” como uma das formas de habitação mais básica e mais funcional. A evolução culmina no século XIX com a invenção do “*balloon-frame*” que suporta as mais variadas formas simbólicas.

As tradições regionais acima sugeridas são ilustradas e descritas com maior pormenor em termos de soluções e de aspectos culturais da construção em madeira nos Anexos desta tese (Volume 2 – Capítulo I. Tradições regionais) onde se desenvolvem cinco partes: A. Primeiros vestígios da construção em madeira; B. Europa; C. América do Norte; D. Extremo oriente; e E. Outras Regiões. Na Europa são descritas as soluções históricas que surgiram na Europa do norte, no Reino Unido, na Holanda, França, Europa central, Europa de Leste e Sudeste e Europa do Sul. Na América do Norte distinguem-se os EUA dos Canadá e no Extremo Oriente individualiza-se a China, o Japão e o Sudeste Asiático, mencionando-se ainda as muitas regiões que não foram abordadas.

### 1.1.5 AS DUAS PERSPECTIVAS DA MORADIA

#### 1.1.5.1 HABITAÇÕES UNIFAMILIARES COMUNS (SÉC. XIX-XX)



Fig. 98 - Família em frente de casa tipo Cape Cod em Lvittown, 1948  
(<http://tigger.uic.edu/~pbhales/Levittown.html>).



Fig. 99 - Kit de partes em Levittown, 1948  
(<http://tigger.uic.edu/~pbhales/Levittown.html>).

A moradia unifamiliar na América do Norte tornou-se um símbolo através do qual se expressam os objectivos de vida da família da classe média. O desejo de viver numa casa associada à ideia de lar (“home”), em oposição à possibilidade de habitar num bloco de apartamentos (“housing”), está relacionado com diversos factores: o “Sonho Americano”, o preconceito em relação à vida da cidade e a admiração pela forma de vida dos primeiros colonos, pressupondo uma aproximação à natureza. Apesar da densificação inevitável dos grandes centros urbanos desde o século XIX, o fenómeno da baixa densidade e o mito da moradia permanecem enraizados na cultura dos Americanos:

*“For them, the self contained, self-owned house become the dream-of objective” (Kalman, 1994, p. 596).*

A casa simbolizaria a independência e um retiro em relação a um mundo instável e competitivo, servindo como contraponto e “força estabilizadora”. No entanto um pouco paradoxalmente associa-se a ela também o valor da mobilidade, da mudança, da construção e da remodelação:

*“To move, either from one house to another - the perennially favourite activity of small-town America - or from one city to another, suggested the possibility of improving one’s social status” (Clark, 1987).*

Este aspecto é importante para entender que um material leve como a madeira e um sistema construtivo fácil de montar, desmontar, ampliar e demolir como o dos reticulados leves foram sendo desenvolvidos e consolidados como os suportes ideais para acolher estes valores.

A evolução da casa comum dos Americanos no final do século XIX passa pela formulação de uma nova ideia de espaço doméstico a caminho da simplicidade e informalidade contra o modelo da casa Vitoriana precedente que assentava na sofisticação decorativa e nos espaços de representação. O *bungalow*, o “revivalismo colonial” e o “estilo da pradaria” eram alguns dos aspectos desta renovação. O primeiro princípio que começava a ser aceite de forma generalizada era o da simplicidade e o segundo o da “honestidade”:

*“Wood was to look like wood, stone like stone” (Clark, 1987).*

A reforma da casa era acompanhada de amplo debate não só por parte de Arquitectos, mas também organizações, como a National Home Economics Association e a General Federation of Women’s Clubs, que visavam uma modernização global da família e do espaço doméstico. Esta evolução funcional e estilística não exigia uma alteração ou substituição do tipo estrutural uma vez que o *balloon-frame* estava perfeitamente adequado às novas propostas, no entanto a pressão do mercado exigia inovações, sempre no sentido da economia. O fenómeno do



Fig. 100 - Sears - Modelo "The Gordon", n.º 3356) (Sears Brands, 2015).



**FAMOUS BOARD OF SEVEN**  
MASTER DESIGNERS, BUILDERS AND MANUFACTURERS  
Present this Board of Seven comes every Aladdin house for the best test of perfection. No detail escapes the keen and searching analysis of these expert designers. The designer must prove his plan to the complete satisfaction of First, a Master Designer, for accuracy; Second, the Master Builders, for practicality, strength, and structural harmony; Third, Factory Experts, for elimination waste, standardization of lengths, and economy of costs. Unless the cost of these big priced master time could be spread over a hundred or more houses of such design, our would be prohibition. But when they spend two or more hours' valuable time the design, drawings, and cutting sheets of an Aladdin house the cost is not all charged in that one house. But to several hundred houses of that same design sold during the year. No other organization—but the Aladdin organization—can afford a group of big talented men such as this Board of Seven, because no other organization in the new business and sells the vast number of houses and buildings produced by the New American Construction Company.  
No other organization can afford to put such high quality into its goods—and other organization does.  
No other lumber manufacturer ever dared back his lumber with a definite guarantee.

Fig. 101 - Aladin "Board of seven" (Central Michigan University, 2015).



Fig. 102 - Serviços de Arquitectura da empresa Hewitt-Lea-Func - Bungalow magazine, May 1914 (Gowans, 1987).

*bungalow*<sup>42</sup> na Califórnia, por exemplo, foi um caso de sucesso baseado na evocação de um modo de vida ao ar livre, numa imagem de conforto e segurança, mas também na facilidade de construção e no baixo custo (Clark, 1987).

O aparecimento de soluções pré-fabricadas, na tradição dos povos nómadas do passado que desenvolveram abrigos leves, de baixo custo e por vezes transportáveis, relacionou-se com a necessidade de alojar sucessivas vagas de colonos, imigrantes, migrantes do campo para a cidade e famílias em mudança. Os *kits* de elementos pré-cortados e enviados para os locais de montagem responderam de início às realidades coloniais, na América do Norte, na Austrália, na Índia e em África. A madeira não foi o único material utilizado nas soluções envolvidas nestes processos uma vez que as estruturas metálicas eram também uma opção muito adequada. Porém a leveza e facilidade de transformação da madeira fizeram dela o material de eleição. À racionalização do processo construtivo, vem juntar-se depois a optimização do processo de concepção.

No final do século XIX a Arquitectura nos EUA era não só realizada por Arquitectos (10.000 segundo os censos de 1900), mas também, em grande parte, por não Arquitectos (*"near Architects and non-Architects"*). Substituindo-se ao sistema tradicional dos serviços do Arquitecto surgiu o sistema de oferta de Arquitectura através das *"mail-order"*<sup>43</sup> que consistia na realização de um catálogo com os desenhos básicos de um conjunto de soluções que poderiam ser encomendados por correio para se obterem projectos de execução e especificações que permitissem a construção efectiva do modelo escolhido. Tais eram os serviços oferecidos pela companhia Cleaveland and Backus Brothers de Nova York em 1856 no seu catálogo *"Villas and Farm Cottages"*.

O catálogo *"Palliser's American Cottages"* de George e Charles Palliser em 1878 ia um pouco mais longe ao propor aos leitores que escrevessem a pedir adaptações particulares relacionadas com as suas necessidades específicas. Por sua vez estas informações eram transmitidas a Arquitectos que eram subcontratados por Palliser para desenvolver as adaptações sugeridas pelos clientes. Estes depois de efectuarem a revisão final poderiam pagar e dar a ordem para o desenvolvimento dos respectivos desenhos (*blueprints*) e documentação de execução (*specifications*).

<sup>42</sup> Seguiram-se outros de modelos menos económicos mas igualmente simples como o tipo *"Ranch house"* desenvolvido no sudoeste (Clark, 1987).

<sup>43</sup> Segundo Gowans (1987) na América do Norte o modelo das *"mail order houses"* escolhidas através de catálogo existia pelo menos desde 1840.



[illegible]

O objectivo do sistema “*mail order*” e de outros semelhantes que surgiram mais tarde consistia em evitar o consumo de tempo e de recursos nas tradicionais reuniões com o Arquitecto, com propostas e contrapropostas que elevavam os preços do serviço:

*"What Palliser provided was a mail order architect" (Gowans, 1987).*

Em 1883 Robert Shoppel em Nova York pretendeu ir mais longe quando editou o “How to build, Furnish and decorate”, um livro que oferecia os serviços de um Arquitecto por uma fracção dos custos deste. Os custos do serviço seriam sem dúvida um argumento importante: uma das grandes empresas, prometia nos seus catálogos (“The Radford Amercian Homes” de 1903 e “Radford Bungalows” de 1908) a oferta de um projecto de execução completo e as respectivas especificações com custos entre \$8 e \$5, enquanto os mesmos serviços cobrados por Arquitectos e concorrentes segundo a prática tradicional seriam entre \$75 e \$100 (Gowans, 1987).

No século XX, companhias como a Aladdin, a Gordon Van Time, a Montgomery Ward, a Hodgson Company e a Sears, Roebuck and Co. ofereciam vastos catálogos de casas pré-fabricadas. A companhia Aladdin introduziu a Ready-Cut House em 1906 tendo vendido cerca de 65.000 casas. Apresentava um catálogo com 450 modelos variando os tipos desde os simples *bungalows* até às mais complexas casas revivalistas. George F. Barber<sup>44</sup> era um construtor que se instalou em Knoxville no Illinois e como era difícil entrar na rede comercial local, começou em 1889 por vender edifícios pré-fabricados que eram depois transportados por comboio (Gowans, 1987).

Várias outras companhias se sucederam tendo sido a empresa Aladdin<sup>45</sup> em 1904 a responsável para a transição para a grande escala (cf. Figura 104). Os modelos dos catálogos, no caso desta empresa, eram criados pelo “Alladin board of seven” (cf. Figura 101), uma equipe de projecto com um “*master designer*”, vários “*master builders*”, e “*factory experts*”, “*but no architects*” (Gowans, 1987). Cada projecto era submetido à avaliação do *Master designer* para verificação do rigor, depois seguia-se a avaliação do Mestre construtor para avaliar a funcionalidade, a resistência e a harmonia estrutural, finalizando o processo com a apreciação dos Mestres industriais quanto à economia de desperdício, normalização dimensional, e economia de custos. O custo deste “*board of seven*” a trabalhar no apuramento de um modelo só poderia ser viável se o custo do modelo fosse distribuído por centenas de casas vendidas. Assim só uma grande empresa com um grande volume de vendas poderia suportar este tipo de abordagem. O catálogo de 1919 fazia mesmo uma

<sup>44</sup> Os seus filhos continuaram o negócio até 1915 tendo sido vendidas milhares de casas utilizando este processo (Gowans, 1987).

<sup>45</sup> Gowans considera que através dela se pode observar uma “mini-História” do gosto nos edifícios residenciais americanos.



referência ao processo de concepção dos Arquitectos que raramente considerava a economia de desperdício nos cortes de material:

*"When the architect overlooks something or makes a mistake, you pay the bill<sup>46</sup>; when a contractor overlooks something or makes a mistake, you are the one to stand the costs of his mistake" (Gowans, 1987).*

Para além da Aladdin, companhias como a Sears ou o promotor William Levitt marcaram a História da casa Americana. A companhia Sears, Roebuck and Co. entre 1908 e 1940 vendeu mais de 100.000 casas, celeiros e edifícios de apartamentos. As casas tinham por base o sistema *balloon-frame* e eram fornecidas em peças numeradas (o número de elementos chegava aos 30.000) e eram acompanhadas por um manual de instruções (Herbers, 2004). O promotor William Levitt começou em 1947 a construir casas destinadas aos soldados regressados da guerra, tendo em 1948 conseguido um ritmo de produção de 150 casas por semana, alcançando assim uma economia de escala que permitia baixar dramaticamente os preços. O seu empreendimento mais famoso é Levittown em Nova York (cf. Figuras 98 e 99) onde recorreu ao sistema de reticulados leves, com base no clássico elemento de secção 2"x4" (Herbers, 2004). Estas empresas tiveram um papel fundamental ao longo de todo o século XX, tendo a Sears lançado o último catálogo em 1940. A Aladdin continuou a fabricar casas até 1981 e a Levitt & Sons entrou em bancarrota em 2007.

As empresas que inovaram racionalizando os sistemas construtivos, os processos e o método de encomenda estavam claramente vocacionadas para responder às tendências do mercado, revelando-se na maior parte dos casos conservadoras no estilo e inovadoras na tecnologia. Essas duas características pareciam estar nos antípodas dos procedimentos associados aos projectos realizados pelos Arquitectos, no entanto alguns dos grandes mestres chegaram a tentar adoptar os pressupostos do mercado de massas, nem sempre com êxito, ou quase sempre resultando em fracassos, como refere Colin Davis (2005).

As casas em madeira construídas no século XIX e XX num contexto estranho à tradição erudita da Arquitectura e muito "esquecidas" pelos historiadores da Arquitectura tiveram provavelmente um papel mais importante nas vidas do Homem comum do que as soluções das casas paradigmáticas e sofisticadas dos Arquitectos que surgem nos livros de História da Arquitectura. Na América a diferença entre a cultura popular da casa de catálogo e a cultura erudita da casa do Arquitecto expressa-se de uma forma muito clara. O contexto cultural parece estar preparado para assumir que num quadro de restrição económica a casa de catálogo é um processo muito adequado. Por outro lado, assume-se também de forma mais clara que o serviço do Arquitecto não está ao mesmo nível das casas de catálogo, destinando-se na sua essência a soluções personalizadas e com pretensões artísticas, sendo por esse motivo um serviço dispendioso. No limite aceita-se que a habitação unifamiliar do homem comum, pertence a um universo neo-vernáculo e não contempla nem necessita a intervenção dos Arquitectos.

#### 1.1.5.2 HABITAÇÕES UNIFAMILIARES MODERNAS (SÉC. XX)

##### **Século XX (1900-1945) - Princípios e Estilo**

A noção de "Arquitectura Moderna" está, segundo Curtis (1991, pp. 14, 15), associada à ideia de progresso, o que implica entender a História como um processo contínuo em que se sucedem no tempo diferentes épocas, cada uma com a sua manifestação espiritual própria. Nesta lógica, as obras de Arquitectura deveriam expressar o espírito do seu tempo. A

<sup>46</sup> Claro que a resposta dos Arquitectos a estas críticas apontava para a superficialidade dos aspectos simbólicos das casas do tipo Aladdin. Criticavam-se as pretensões culturais, as caricaturas estilísticas, os contra-sensos e a falta de autenticidade geral (Gowans, 1987).



Fig. 105 - Casa de campo Khuner, Kreuzberg, Austria.  
Adolf loos, 1930 (Samitz, 2003).

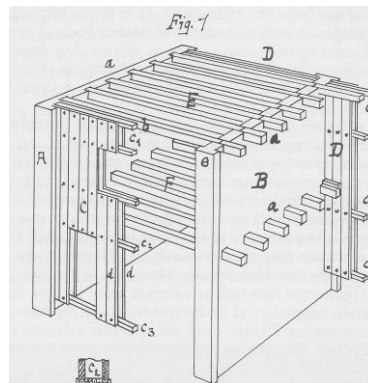


Fig. 106 - "Casa de uma só parede". Adolf  
Loos, 1921 (Gravagnuolo, 1988).

industrialização e a mecanização aliadas ao Movimento Moderno iriam então ultrapassar a tradição, os ofícios, o trabalho artesanal e o carácter vernáculo das construções.

O Movimento Moderno, como tendência, compreendeu uma grande diversidade de contribuições individuais e colectivas, sendo impossível fixar a sua origem num único lugar ou ambiente cultural. Mas Benévolo (1996, p. 433) diz poder observar aproximadamente a partir de 1927 uma certa coerência nas distintas propostas que iam ocorrendo em diferentes contextos e regiões. Nesse ano a Werkbund alemã organiza a sua segunda exposição em Stuttgart através da apresentação de um bairro residencial cujo plano director foi projectado por Mies van der Rohe. Será nesta ocasião que se apresenta pela primeira vez ao público um panorama unitário do Movimento Moderno (Benévolo, 1996, pp. 495-497). Também em 1927 Hilberseimer, num artigo da revista *"Bauformen"* dirigido ao grande público, expõe os pressupostos e as bases da nova Arquitectura: as exigências utilitárias, os materiais, a estática e a técnica de construção (Benévolo, 1996, p. 510). Nesse texto acrescentaria ainda que os problemas estilísticos não estavam contemplados nas preocupações da Arquitectura Moderna e que a "surpreendente" concordância na aparência formal das experiências internacionais (volumes simples, as janelas em banda, as coberturas planas, as grelhas, os planos horizontais em balanço), resultava de uma abordagem lógica exclusivamente direccionada para os problemas construtivos.

A Arquitectura Moderna alcança nos anos 30 o seu máximo prestígio. Benévolo (1996, p. 517) realça neste clima o aparecimento de três obras emblemáticas: a ville Savoye de Le Corbusier, a casa Tugendhat de Mies van der Rohe e a Columbushaus de Mendelshon. Todos esses edifícios recorrem às tecnologias modernas do betão e do aço e apresentam expressões formais que sugerem quase um estilo: o reboco branco, os grandes vãos, a ausência de interrupção estrutural na fachada e adicionalmente o interesse pela construção em altura (no caso da Columbushaus). Hitchcock e Johnson foram mais longe tentando definir as qualidades visuais do novo estilo no catálogo de 1932, *"The international style: Architecture since 1922"*, centrando-se a ênfase no volume (ou seja no espaço) e não na massa, propondo-se a regularidade (estrutural) em vez da simetria axial e evitando qualquer tipo de ornamentação (Curtis, 1991, p. 158).

Ford (1997, pp. 353-354) considera que os três grandes Arquitectos, Wright, Mies e Le Corbusier, se expressaram através dos valores de uma construção monolítica, ou seja aquela em que a estrutura é a própria Arquitectura. Mas enquanto Wright terá sem dúvidas concebido alguns projectos segundo esse princípio, por exemplo na casa Kaufmann, já Mies van der Rohe na casa Farnsworth ou Le Corbusier nas suas vilas com estrutura metálica ou de betão e paredes de tijolo rebocadas, apenas conseguiram uma aproximação a esse



Fig. 107 - George Madison Milard House, Geneva III, 1906 (Heinz, 2000).

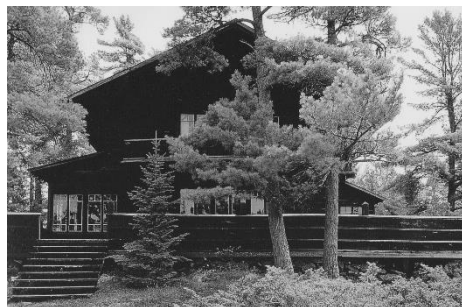


Fig. 108 - E. H. Pitkin House, Sapper Island Ontario, Canadá, 1900 (Heinz, 2000).

princípio construtivo ideal. Também Davies (2005, pp. 108-109) considera que os Arquitectos modernos vão assimilar os princípios goticistas da “estrutura claramente expressa”, mas na realidade das obras construídas vão expressar a visão alternativa de Gottfried Semper, sempre que, como nas obras de Wright ou de Le Corbusier, estão presentes outros princípios (de composição) determinantes da forma que não são exclusivamente os construtivos.

Na obra “*A linguagem moderna da Arquitectura*”, Bruno Zevi (1984) define aquelas que seriam a seu ver as sete características constantes da Arquitectura Moderna. Numa monografia sobre Frank Lloyd Wright descreve como todas elas estão presentes nas suas obras (Zevi, 1980, pp. 17-21): 1) A individualidade como metodologia; 2) Assimetria e dissonância; 3) Tridimensionalidade anti-perspectiva; 4) Decomposição quadridimensional; 5) Estruturas salientes, cascas e membranas; 6) Temporalidade do espaço; 7) Reintegração edifício-cidade-território). Mesmo nas situações em que Wright recorre à construção em madeira, um material que não era considerado moderno, como o faz nas “casas da pradaria” e nas casas “usonianas”, estes princípios não deixam de se manifestar. Embora não restem dúvidas que através das estruturas metálicas e do betão se consegue ir mais longe num dos princípios (“estruturas salientes, cascas e membranas”), a obra de Wright parece demonstrar que a madeira não é limitadora do cumprimento de todos os outros princípios modernos.

A identificação do Movimento Moderno com uma estética unitária expressa por uma Arquitectura de volumes brancos, grandes envidraçados e estruturas metálicas ou de betão irá relegar para um plano secundário a madeira. Kucker (2002, p. 188), refere-se ao exemplar esquecimento, a que foram votados Arquitectos como Frank Lloyd Wright e Rudolf Schindler quando foram excluídos da exposição do Estilo Internacional em favor de outros Arquitectos cujas obras expressavam melhor a “estética da máquina”. Estes dois Arquitectos estavam associados a uma Arquitectura estreitamente ligada ao processo de construção, mas em vez do aço, tinham escolhido – diz Kucker (2002, p. 188) - reinventar a tecnologia da madeira.

#### **Os mestres Modernos - Idealistas e Pragmáticos**

É mais ou menos consensual que os grandes Mestres da Arquitectura Moderna foram Frank Lloyd Wright, Mies van der Rohe e Le Corbusier, até pela diversidade de aproximações à cultura arquitectónica que cada um deles representa. Se a eles juntarmos outros Arquitectos como Adolf Loos, Walter Gropius, Alvar Aalto, Marcel Breuer e Richard Neutra, fica reunido um leque suficientemente amplo para se analisar sinteticamente a diversidade de posturas relativamente à madeira como material de construção no seio da Arquitectura Moderna. Os princípios teóricos de cada Arquitecto não se mantêm constantes e por vezes são mesmo contraditórios, por isso mesmo, as questões que interessa colocar é se todos estes Arquitectos foram fiéis e coerentes aos princípios tidos como basilares na Arquitectura

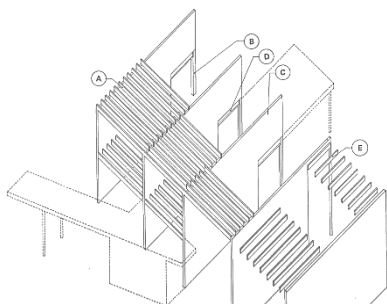


Fig. 109 - Casa Gropius, Lincoln, Massachusetts. Walter Gropius, 1938 (Ford, 1997).

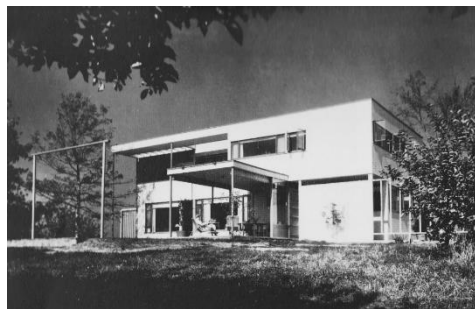


Fig. 110 - Casa Gropius, Lincoln, Massachusetts. Walter Gropius, 1938 (Ford, 1997).

Moderna, especialmente ao da “verdade dos materiais” e se foi feito um uso exclusivo do aço e do betão, uma vez que eram estes os materiais verdadeiramente inovadores.

O princípio da “verdade dos materiais” é o que permite distinguir se se recorre a estruturas que são tornadas aparentes como os porticados pilar viga em aço ou as paredes pesadas em betão armado, ou se recorre a tipos de estruturas como os reticulados leves em que se esconde a estrutura, revestindo-a com vários tipos de acabamentos. Na terminologia de Ford, este seria o princípio que permitia distinguir entre construção monolítica e estratificada. A segunda questão está relacionada com este princípio, permitindo distinguir entre o uso dos materiais modernos e artificiais e o recurso aos materiais antigos e naturais como a madeira.

Adolf Loos, para além das viagens que efectua aos EUA, foi influenciado pela Arquitectura doméstica inglesa do seu tempo, pelo movimento *Arts and Crafts* e pelas ideias de Gottfried Semper. Para ele a ideia de revestimento como princípio da Arquitectura coincidia com uma das consequências da industrialização (Ford, 1997, p. 225). Adolf Loos é então adepto da construção estratificada, assumindo uma postura pragmática e um conceito de habitação cuja expressão varia consoante os contextos. Usa a madeira como construção integral em ambientes rurais como na casa Khuner (cf. Figura 105), com paredes pesadas de toros serrados, que será segundo alguns autores a sua obra mais importante (Gravagnuolo, 1988, p. 204). Mas utilizará também a madeira em situações em que a economia é um factor preponderante, desenvolvendo por exemplo a “casa de uma só parede” patenteada em 1921, que embora não sendo uma solução integralmente em madeira é um sistema de pré-fabricação em que esta assume um papel essencial (cf. Figura 106).

Frank Lloyd Wright manifesta nas suas obras residenciais uma adesão inequívoca à construção estratificada com recurso aos reticulados leves de madeira que se adequam bem ao seu ideal de espaço doméstico tendencialmente rural e orgânico. Frampton (1996, p. 102) sublinha nos princípios de Wright uma conjugação entre a inspiração do templo japonês e o uso do *balloon-frame* que terá resultado na sua característica construção doméstica modulada. A madeira é utilizada como um sistema construtivo eficiente na maior parte das suas obras de habitação mas observa-se uma preferência pela sua utilização equilibradamente com outros materiais. Pontualmente recorre à madeira como sistema integral, reconhecendo especialmente o seu potencial de pré-fabricação que explora de formas diversificadas e criativas como no “*American System Ready Cut House*” (Davies, *The prefabricated home*, 2005, p. 30). Tanto nas “casas da pradaria” como nas “casas *usonianas*” utiliza a madeira frequentemente como material estrutural e por vezes como material de revestimento. Exemplos de casas com a plena capacidade expressiva da madeira à vista são: a E. H. Pitkin em Saper Island, Ontario, Canada de 1900 e a casa George Madison Millard, Highland Park, Il de 1906, entre muitos outros exemplos onde a madeira surge como revestimento final pintado (cf. Figuras 107 e 108).

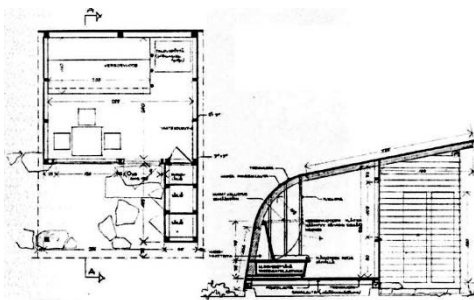


Fig. 111 - Cabana para trabalhadores da fábrica Varkaus. Alvar Aalto, 1939 (Schildt, 1986).

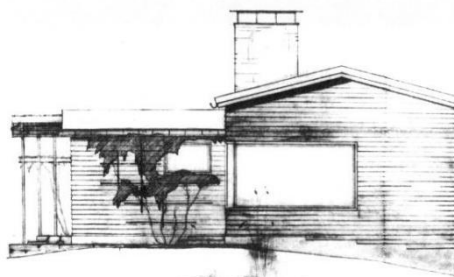


Fig. 112 - Projecto de casa de Verão, ilha Gloskär. Alvar Aalto, 1936 (Schildt, 1986).

Walter Gropius na sua fase americana viria a acolher os princípios genéricos da construção estratificada em madeira que serviram os seus objectivos e princípios formais. Ford (1997, p. 311) considera que o sistema *platform-frame* teria sido adoptado por Gropius como forma de integrar o vernáculo americano e a Arquitectura Moderna numa tendência a que Giedion designou de "novo regionalismo". O seu conceito de espaço doméstico mantém-se no entanto vincadamente urbano e racionalizado, razão pela qual as casas que constrói em madeira parecem ser rebocadas e pintadas de branco, remetendo para as estruturas de betão armado. Para além do uso amplo dos reticulados leves de madeira, utiliza significativamente os sistemas mistos, nos quais integra outros materiais mais resistentes e pesados. Nesta linha, desenha e constrói várias casas em madeira como a sua própria habitação em Lincoln, Massachusetts onde mesmo as paredes resistentes são de reticulados leves (cf. Figuras 109 e 110). A pré-fabricação é uma metodologia que explorará constantemente ao longo do seu percurso profissional, recorrendo à madeira como material principal por exemplo no Packaged House System desenvolvido com Konrad Wachsmann (Berdini, 1989, p. 186).

Le Corbusier adepto, por princípio, da construção "monolítica" em betão armado, revela na sua obra um grande pragmatismo em virtude das contradições que esta abordagem acarreta, ou seja, não o preocupa que a estrutura seja por vezes escondida e revestida. A sua ideia de espaço doméstico é mais vincadamente urbana, abstracta e racional, mas em contextos rurais ou de escassez verifica-se que aderiu a uma visão mais rústica no que diz respeito ao uso dos materiais. A utilização que faz da madeira é meramente pontual e nunca recorre a ela como um sistema integral a não ser no *Petit Cabanon* (Boesiger, 1989, pp. 96,97) onde o princípio do revestimento é acentuado pelo acabamento exterior, escolhido a simular a construção em toros. A partir de 1930 constrói e projecta várias habitações com sistemas vernáculos, conjugando a madeira com a alvenaria. As casas Murondins, por exemplo, são um sistema em que a madeira e a terra se juntam numa solução económica para responder a um contexto de guerra. Para Le Corbusier os efeitos da industrialização na construção correspondem à substituição dos materiais naturais por materiais artificiais: contra a heterogeneidade e variabilidade dimensional dos primeiros opõe-se a homogeneidade e o rigor dimensional dos segundos. O betão armado e os perfis metálicos são, no discurso de Le Corbusier, manifestações do "cálculo" enquanto a "antiga viga de madeira" tem o problema de poder sempre esconder um "nó traiçoeiro" (Le Corbusier, 1924, p. 192).

Mies van der Rohe assumiu o princípio da construção monolítica apoiado por uma postura idealista (fundada em valores clássicos de durabilidade, racionalidade e civilização). O seu conceito de Arquitectura doméstica é plenamente urbano, o que em parte também justificará a sua rejeição da madeira como material de construção. O seu único projecto em que surge a madeira como material expressivo dominante é o da casa Resor, o primeiro projecto para os

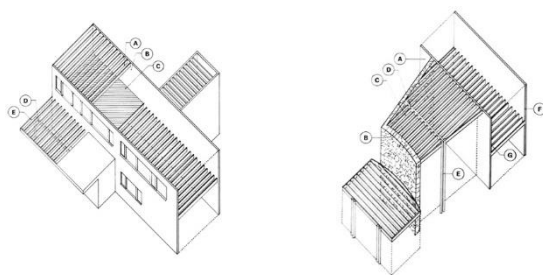


Fig. 113 - John Ford e Breuer Houses - Marcel Breuer e Walter Gropius (Ford, 1997).

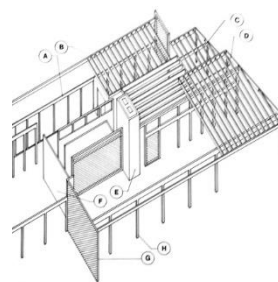


Fig. 114 - Moore House, Richard Neutra (Ford, 1997).

EUA, que nunca chegará a concretizar (Russel, 1986, p. 93; Riley & Bergdoll, 2002, p. 304), mas onde desde o início a estrutura metálica estava também integrada.

Alvar Aalto pode ser associado à construção estratificada e à concepção de um espaço doméstico híbrido entre o urbano e rural. Irá utilizar a madeira em consonância com esse conceito assumindo-a como um entre outros materiais aos quais o Arquitecto pode recorrer. Numa vertente muito pragmática, Aalto explora a construção pré-fabricada em madeira (cf. Figuras 111 e 112) especialmente no contexto de programas residenciais para trabalhadores industriais ou no âmbito de concursos (Schildt, 1986, pp. 214, 264, 265). Também projecta habitações personalizadas, integralmente em madeira, como as casas para o Eng. H. Rydgren ou para Eino Makinen (Schildt, 1986, p. 279). Aalto aproxima-se dos princípios não dogmáticos de Gottfried Semper ao defender, num texto de 1938, que não há uma influência unilateral dos materiais sobre a arte da construção (Eveno, 1988, p. 139).

Marcel Breuer, tal como Walter Gropius, em território americano adere à construção estratificada. A sua ideia de espaço doméstico é muito racionalizada, mas manifesta uma tentativa de equilibrar uma Arquitectura abstracta com expressões rústicas. Continua a tendência que iniciou na sua parceria com Walter Gropius, desenvolvendo projectos como os da casa Chamberlain (Driller, 2000, p. 142) ou da casa Breuer II (onde recorre à dualidade entre a madeira e a pedra), mas também nas Cottages de Cape Cod construídas integralmente em madeira (Armesto, 2001, p. 12). Breuer vai explorar de uma forma criativa a pré-fabricação em madeira nomeadamente na casa protótipo *Plas-2-Point*. Para Ford (Ford, 1997, p. 315) é através da casa de Breuer em New Canann, na qual a madeira é o material dominante, que se demonstra que a Arquitectura Moderna não está dependente em absoluto dos materiais modernos (cf. Figura 113).

Richard Neutra aproxima-se também dos princípios dos outros mestres a actuar no continente americano, assumindo a construção estratificada em madeira e uma atitude pragmática. No entanto o seu ideal de espaço doméstico parece pretender estabelecer uma fusão entre a organicidade e a racionalidade. A madeira é usada nas suas obras, por vezes integralmente (cf. Figura 114), mas recorre com frequência a outros materiais. Em obras específicas como as que constrói a partir de 1940 (casas Maxwell e Bonnet) consegue demonstrar que a madeira como sistema integral também podia ser compatível com o espaço doméstico moderno (Hines, 1994, p. 199). Neutra demonstra claramente uma desconfiança em relação ao princípio da “verdade dos materiais” quando recorre à tinta metalizada para pintar alguns componentes de madeira falseando-os conscientemente (Ford, 1997, p. 91).

Harwell Hamilton, colaborador de Richard Neutra, descreveu o hábito algo desconcertante e recorrente do seu Mestre que consistia em pintar elementos estruturais de madeira com tintas de alumínio, com o objectivo de conferir à madeira a aparência do aço. Perante este

falseamento da “verdade dos materiais”, revelou que sempre terá desejado confrontar o seu padrão com a seguinte pergunta retórica:

*"Mr Neutra what is the best material to build a steel house of?" (Ford, 1997, p. 91).*

### **Síntese sobre a madeira na Arquitectura Moderna**

1 - No contexto da Arquitectura Moderna, a madeira ao contrário do betão e do aço não era um material identificado com a ideia de progresso e de espírito do tempo. Este entendimento terá sido reforçado pela postura dos dois principais mestres modernos: Mies van der Rohe e Le Corbusier. Para eles a madeira parecia interessar meramente como um símbolo da construção pura do passado, útil para ser utilizado no contexto de especulações teóricas (tal como faz Mies) ou em obras muito singulares como a do Petit Cabanon de Le Corbusier.

2 - O século XIX veiculou diversas teorias sobre os valores da Arquitectura, relacionando-os estreitamente com a natureza da construção. Estas ideias poderão ter ajudado a difundir alguns preconceitos em relação à madeira, nomeadamente através da apologia dos princípios de "verdade construtiva" e de "construção monolítica". O sistema de paredes pesadas de toros em que a madeira se compatibilizava com esses princípios correspondia a uma Arquitectura do passado. Por outro lado, as soluções de madeira mais recentes de reticulados leves, como o *platform-frame*, identificavam-se com um sistema estratificado que escondia a estrutura com revestimentos adicionados. Os Arquitectos modernos a actuar na América vão de certo modo negligenciar o princípio da expressão da verdade construtiva e estrutural e de certa maneira acolher o princípio da expressão estética abstracta e industrial. É neste contexto que Arquitectos como Gropius e Breuer e Neutra pintariam em algumas obras a madeira de branco, numa expressão mais consonante com o "estilo internacional". Pode-se referir ainda que a maior parte dos Arquitectos modernos confirmam que não há obrigatoriamente uma relação imperativa entre tecnologia e expressão arquitectónica: a tecnologia da madeira, do aço e do betão, podem expressar-se espacial e formalmente com uma grande semelhança entre si<sup>47</sup>.

3 - As vantagens efectivas do aço e do betão fizeram-se sentir especialmente em obras de maior arrojio ou de grande escala. Temas modernos como a construção em altura ou em parte a habitação colectiva excluía a madeira da lista de possibilidades construtivas. Mas ao nível da habitação unifamiliar, nomeadamente nos EUA, beneficiou-se da tradição do sistema *balloon-frame* que demonstrou a sua compatibilidade com as características da Arquitectura doméstica. Por outro lado, os sistemas de construção em madeira foram sempre sendo aperfeiçoados no sentido de os tornar mais económicos e de eliminar algumas das suas maiores fragilidades. Nota-se no entanto que a maior parte das obras modernas com estruturas de madeira, o fazem integrando também outros materiais.

4 - A construção em madeira teve especial acolhimento em contextos singulares e favoráveis: onde havia tradição de construção em madeira e em meios rurais ou suburbanos ou ainda no âmbito de processos de pré-fabricação. Não é por acaso que os Arquitectos modernos que actuaram nos EUA acabaram por tirar partido das vantagens da madeira (com a singular excepção de Mies van der Rohe). Deve-se referir ainda que em situações urbanas onde a construção em altura era explorada, a madeira tinha naturalmente menos adequação e cabimento.

---

<sup>47</sup> Este argumento não será válido no contexto de programas não residenciais, como as grandes naves ou os edifícios em altura.

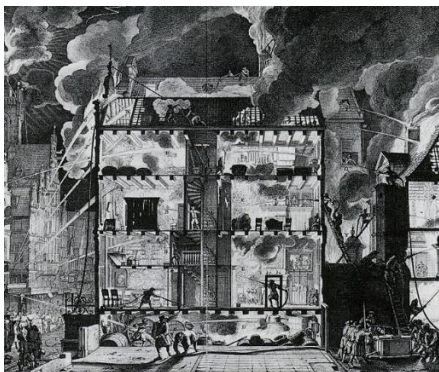


Fig. 115 - Incêndio em Amsterdão. Jan van der Heyden Dutch, 1637-1712  
(<https://streetsofsalem.files.wordpress.com/2014/06/van-der-heyden-3-1690-sectional-view-met.jpg>).



Fig. 116 - O grande incêndio de Londres - 1666 (Pennsbury Manor, 2015).

A História da Arquitectura é escrita com base em sistemas interpretativos que inevitavelmente estabelecem generalizações e valorizam alguns critérios de análise em detrimento de outros. Se é certo que o estudo da Arquitectura Moderna posterior à segunda guerra mundial poderia fornecer mais exemplos de abordagens que integram a madeira, também é certo que a partir dessa altura os princípios teóricos iniciais da modernidade começarão já a ser contestados, sendo por vezes o uso da madeira até um símbolo dessa contestação. Quanto à fase pioneira da Arquitectura Moderna, a construção em madeira merecerá uma História paralela que ainda não estará hoje suficientemente aprofundada e valorizada, principalmente na Europa. Uma História da Arquitectura da primeira metade do século XX, com o foco na habitação unifamiliar e nos aspectos construtivos deveria revelar o papel preponderante que as estruturas de madeira tiveram na difusão da Arquitectura Moderna, como suporte eficaz das suas inovadoras concepções espaciais.

### 1.1.6 DECLÍNIO E RENASCIMENTO DO USO DA MADEIRA

#### 1.1.6.1 O DECLÍNIO DO USO DA MADEIRA

O declínio da utilização da madeira na construção foi um fenómeno gradual explicado por um conjunto grande de factores que podem ser agrupados em três grupos: A escassez da madeira pelo seu uso excessivo, o prestígio da alvenaria e o receio dos incêndios.

A escassez da madeira resulta da sua utilização como material de construção e como combustível. Tendo sido até ao século XVI na Europa Ocidental o material de construção dominante, a sua escassez foi sentida como um efeito da pressão construtiva dos centros urbanos que adicionalmente eram consumidores de madeira como combustível para o aquecimento, a preparação de alimentos e para a actividade de muitos dos ofícios. As cidades em crescimento exigiam terrenos agrícolas para as alimentar pelo que a necessidade de cultivar grandes áreas rurais implicava muitas vezes que se tivesse que eliminar terreno florestal. Também o desenvolvimento industrial e em especial a metalurgia requeriam grandes quantidades de combustível que era obtido também nas florestas. Outro factor importante relacionava-se com as necessidades de fornecer a construção naval e em especial as Marinhas de Guerra (que garantiam as soberanias nacionais), muito exigentes na escolha das melhores madeiras, promovendo assim restrições à sua utilização na construção civil através de decretos e regulamentos. Provost (2010) refere ainda o impacto que a primeira guerra mundial teve na destruição da floresta, não só porque foi devastada pela acção bélica, mas porque a sua matéria-prima forneceu a construção de muitos Quilómetros de trincheiras.

O prestígio dos materiais não orgânicos como a pedra e o tijolo fez-se sentir tanto nos meios eruditos como populares, contra o uso tradicional da madeira. Para os Arquitectos, a pedra



era símbolo de durabilidade, e para o entendimento popular, a pedra ou o tijolo correspondiam a um estatuto mais elevado. A igreja como instituição essencial no desenvolvimento cultural Europeu teve também um papel importante na desvalorização da madeira do ponto de vista simbólico. Hansen refere que as regras própria da Igreja Católica valorizavam a pedra como o material liturgicamente mais apropriado para a construção de igrejas<sup>48</sup> (Hansen, 1971, pp. 153, 154). Na Suécia, por exemplo, as várias disposições e regulamentos que foram sendo elaborados para travar a construção com madeira começaram pelas igrejas. Em 1547, o rei Gustav I (Gustav Vasa) estipulou por lei que as igrejas não deveriam ser mais construídas em madeira. Posteriormente, em 1786, Gustav III estendeu a restrição a todos os edifícios públicos. Adicionalmente, em 1874, elaborou-se uma lei contra a madeira em todos os edifícios de mais de um piso (Svensson, 2014).

O receio dos incêndios foi provavelmente o motivo mais importante para o desenvolvimento, aceitação e prestígio das alvenarias de pedra e de tijolo. A História das cidades é plena de grandes incêndios: Utrecht em 1253, Munique em 1327, Berna em 1405, Amsterdão em 1421 e 1452, Gouda em 1421, Achen em 1656, Londres em 1666, Rostock em 1677, Reutlingen em 1726, Copenhaga em 1728, Moscovo em 1752, Lisboa em 1755, Nova Iorque em 1776, entre muitos outros que em geral destruíam grandes fracções do tecido urbano. Se em algumas cidades as reconstruções se faziam recorrendo ao mesmo tipo de materiais como aconteceu em Briggen na Noruega (os mais violentos ocorreram 1476 e 1702) (UNESCO World Heritage Centre, 2013), normalmente a reconstrução era acompanhada de medidas anti-incêndio como aconteceu após o incêndio do Quebec de 1682 que destruiu dois terços dos edifícios (que eram de madeira) da cidade baixa, sendo a reconstrução posterior executada predominantemente com pedra (Kalman, 1995, p. 30).

O incêndio de Chicago de 1871 é provavelmente o mais paradigmático desta série porque por um lado conduziu à proibição das estruturas leves de madeira em grande parte da cidade e por outro lado lançou um debate sobre a segurança das estruturas de ferro forjado e dos edifícios de grande altura. As companhias de Seguros depois de despendem elevadas quantias no rescaldo dos incêndios de 1871 e de 1874, pretendiam que fosse proibido o uso de suportes em ferro a favor das estruturas de madeira pesada. Perante a possibilidade de se acabar com o negócio do ferro e de se ficar muito atrás de Nova York na “corrida” da construção em altura, o Arquitecto Peter B. Wight patenteou um sistema de segurança contra incêndio mediante a protecção das estruturas de ferro com tijolos refractários. Essa patente seguia a linha das ideias já desenvolvidas noutros contextos para as estruturas de aço através de revestimentos de mosaicos de terracota e tijolos (Achilles, 2013).

Para além das regiões que continuaram com a tradição da construção com estruturas de madeira um pouco por todo o mundo, a continuidade da madeira verificou-se um pouco por todo o lado, principalmente através dos elementos estruturais escondidos na construção, como os pavimentos e as coberturas ou as escadas, os revestimentos de pavimento, os rodapés, os tectos e os lambris. A alteração dos modos de vida e as exigências de conforto, em conjugação com a introdução de novos materiais de construção fizeram nascer em muitos países uma nova tradição de construção com estruturas porticadas de betão armado e alvenarias de preenchimento que se consolidou durante quase todo o século XX.

---

<sup>48</sup> As igrejas deviam relacionar-se com “a pedra de Cristo”. As igrejas de madeira foram autorizadas a manter-se como edifícios temporários, mas as novas construções privilegiavam a alvenaria, sendo muitos dos elementos decorativos das novas construções referenciados aos das igrejas de madeira (Hansen, 1971, pp. 153, 154).



Fig. 117 - Casa Gugalun em 1927. Construída em toros em 1706 em Versam, Suíça (Yoshida, 1998).



Fig. 118 - Ampliação da casa Gugalun por Peter Zumthor (1990-1994) (Yoshida, 1998).

#### 1.1.6.2 O RENASCIMENTO DA MADEIRA

O renascimento da construção em madeira dá-se quando as preocupações sobre a delapidação dos recursos e a destruição do ambiente assumem um carácter de prioridade. A partir do momento em que o conceito de desenvolvimento sustentável entra no discurso político de forma séria, mais do que as preocupações isoladas de clientes, promotores ou Arquitectos, são os regulamentos e as normas que exigem a utilização de recursos renováveis. Dos principais materiais estruturais a madeira é o único renovável. A sua utilização, acompanhada por uma gestão sustentável da floresta, passa a ser uma das opções principais a considerar nas escolhas construtivas dos edifícios projectados à luz dos paradigmas do presente.

A gestão florestal terá sido precisamente um dos sectores em que o conceito de sustentabilidade primeiro se manifestou, relacionando-se com o receio do esgotamento da floresta. Na Idade Média em França, o termo “*soutenir*” foi utilizado na lei através da *Ordonnance de Brunoy* de 1346 obrigando a que os donos das florestas levassem a cabo procedimentos (de manutenção e gestão de vendas) que permitissem que as florestas se pudessem sustentar perpetuamente em boas condições (Schmithüsen, 2013). Também na América do Norte do início da colonização, a experiência do consumo intensivo de madeira levou os colonos a estabelecer regras de abate para enfrentar a visível depleção dos recursos que estava a ser efectuada. Nos arquivos da vila de Dedham, em 1667 encontra-se registada a preocupação com o abate indiscriminado de árvores:

*“(...) very prejudicial at present, but especially for the succeeding generations which it concerns us to consider” (Pryce, 2005, p. 176).*

O conceito de sustentabilidade definido de forma mais elaborada terá as suas origens no pensamento estruturado sobre o sector da produção florestal. Em 1713, Hans Carl von Carlowitz, publicou “*Silvicultura Oeconomica*” onde propõe uma gestão sustentável da produção e uso da madeira, cunhando o termo “*Nachhaltigkeit*”. Na sua obra alertava para a possibilidade de um futuro “negro” para a Europa, com florestas pouco qualificadas, se não se adoptassem as formas de gestão sustentável que preconizava na sua obra. Wilhelm Gottfried Moser teorizou no mesmo sentido, defendendo que uma economia sustentável seria a mais razoável, mais justa e mais inteligente, devido à certeza de que o homem não deveria viver apenas para si próprio, mas também para os outros e para a posteridade (Schmithüsen, 2013).

Para além dos argumentos ambientais, as qualidades estéticas e sensoriais da madeira passaram a ser revalorizadas pela comunidade da Arquitectura erudita que se manifesta nas escolas de Arquitectura e nos media especializados (revistas e sítios especializados).

Arquitectos como Peter Zumthor, Kengo Kuma, Thomas Herzog e outros contribuíram para o “renascimento” da madeira, anunciando uma possibilidade de evolução dos paradigmas que informaram as gerações da segunda metade do século XX.

### **1.1.7 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS - SÍNTESE**

Termina-se este capítulo com uma tentativa de síntese final da evolução dos sistemas estruturais aplicados à habitação (cf. Fluxograma 2), com base nas informações recolhidas nas fontes consultadas e apresentadas nos capítulos precedentes (e complementadas nos anexos). Adota-se aqui uma abordagem especulativa na medida em que é quase impossível reconstituir a evolução factual dos sistemas estruturais a um nível global, tal é diversidade de regiões, actores, sistemas, e condicionantes. Assim, recorreu-se a um método lógico em que se agrupam os sistemas construtivos em quatro grandes famílias (reticulados, porticados, paredes leves e paredes pesadas) e fracciona-se o tempo em quatro épocas: a “abordagem primitiva”, a idade “Média/Moderna”, o “século XIX” e o “século XX”. A análise conjectural do desenvolvimento dos sistemas construtivos é acompanhada dos condicionantes da forma anteriormente expostos como causas necessárias da evolução: disponibilidade de materiais, resposta ambiental, resposta cultural, resposta funcional, resposta à degradação, eficácia tecnológica e eficácia económica. O contexto da análise limita-se aos sistemas estruturais com um foco nas sociedades ocidentais.

Parte-se do princípio que a condicionante da forma nos estágios mais básicos do desenvolvimento é a disponibilidade de materiais. Quando os meios tecnológicos e a competência técnica não estão desenvolvidos, a maior ou menor disponibilidade de madeira fará variar as soluções tecnológicas. A solução mais simples e menos exigente será a dos reticulados leves básicos (1), com recurso a ramos de secção reduzida e média, sem necessidade de abater árvores adultas e utilizar ferramentas auxiliares. As principais soluções dos povos primitivos recorreriam a este tipo de reticulados, tirando partido da sua simplicidade (cf. Fluxograma 2, pág. 87).

À medida que a competência técnica evolui, sucedem-se as experiências e o conhecimento empírico aumenta, os porticados básicos (2) serão soluções que oferecem maior durabilidade e solidez. Os porticados são soluções mais duráveis e resistentes, surgindo naturalmente por isso associadas a situações em que é necessário aumentar a dimensão do abrigo ou em contextos exigentes como os leitos de cheia ou os terrenos pantanosos onde os pilares e as estacas desempenham um papel decisivo. Estes porticados exigem materiais de preenchimento que para além das argamassas estruturadas podem consistir na pedra e no tijolo, surgindo em locais onde a disponibilidade da madeira é complementada com a de outros materiais. Os porticados consolidam-se também especialmente em zonas onde o clima exige uma ventilação constante dos espaços interiores e onde o sobreaquecimento é uma preocupação importante como acontece no Sudoeste Asiático e nas zonas Tropicais florestadas (cf. Fluxograma 2, pág. 87).

Em zonas de maior disponibilidade de madeira e menor disponibilidade de outros materiais como sucede nas zonas frias e onde a neve cobre a superfície do solo durante a maior parte do ano, em vez dos porticados, a escolha natural, embora exija mais esforço ou mais meios técnicos para abater árvores de maior porte, será a das paredes pesadas básicas (3). A solução mais simplificada, por requerer toros mais curtos e ligações menos complexas, consistirá na solução de toros verticais cravados no solo. Entretanto os problemas de durabilidade e estanquidade deveriam ser de tal ordem que a solução prevalecente terá sido a dos toros sobrepostos na horizontal. Esta é uma solução que é muito mais exigente

tecnicamente porque requer maior competência na execução das ligações de canto e na sobreposição dos toros. As paredes pesadas, para além de surgirem em zonas amplamente florestadas com árvores resinosas fornecedoras de elementos de construção longos e rectos, relacionam-se com climas muito rigorosos e exigentes em termos de isolamento térmico, explicando-se por isso a sua adequação aos países Nórdicos, aos Alpes, aos países do Leste e às regiões mais frias da América do Norte (cf. Fluxograma 2).

As paredes leves (4) correspondem a um desenvolvimento dos reticulados pesados por motivos conjugados: de economia (menos recursos florestais), disponibilidade tecnológica (para a fractura dos toros em pranchas) e de contexto climático (climas menos rigorosos) (cf. Fluxograma 2). Nestes sistemas, a transformação dos elementos construtivos é maior sendo o número de ligações que se estabelecem entre elementos também superior, exigindo-se por esse motivo mais ferramentas e maior precisão construtiva. Por outro lado, a substituição dos toros das paredes pesadas pelas pranchas das paredes leves implica, como é evidente, uma redução na quantidade de material de isolamento, o que deveria estar em consonância com as exigências de conforto em que tais sistemas surgiram. Estes sistemas são normalmente o resultado de uma associação entre aspectos dos sistemas porticados e dos sistemas de paredes pesadas, sendo por vezes a sua classificação difícil e equívoca. A sua utilização pelos povos Nórdicos na Dinamarca, Suécia e Islândia, estará relacionada com a cultura de mobilidade (navegações e conquistas), sendo a evolução para uma solução mais leve que as paredes pesadas de toros um processo lógico e natural.

Na “abordagem primitiva” da construção, para além da disponibilidade de madeira, a resposta ao clima determinará muitas das características das soluções desenvolvidas. O tipo de prioridade na gestão do ambiente interior (ventilação ou conservação do calor) determinam a solução de envolvente escolhida, relacionando-se esta ao mesmo tempo com a solução estrutural que a suporta. Os porticados serão mais flexíveis porque permitem uma ampla gama de soluções de envolvente surgindo tanto em climas quentes como frios, enquanto nas paredes pesadas, a estrutura e a envolvente são coincidentes surgindo por isso associados a climas frios. Ao longo dos processos de evolução deste período inicial, todos os factores conjugados cunham identidades culturais, símbolos e hábitos associados que se sobrepõem muitas vezes às restantes condicionantes. Também as organizações sociais, as actividades e a organização do trabalho são determinantes importantes da forma, ao nível das exigências espaciais, apelando muitas vezes a novas soluções estruturais e tecnológicas. As migrações e as trocas culturais são especialmente importantes na justificação do surgimento de soluções construtivas quando estas não resultam nem das condicionantes climáticas nem da disponibilidade de materiais por si só.

Na “Idade Média/Moderna”, cada um dos princípios construtivos básicos é desenvolvido no sentido de uma melhoria da qualidade geral em termos de resistência e durabilidade. O uso de ferramentas mais elaboradas, em especial das serras, impulsiona a evolução dos sistemas estruturais. Nos porticados os componentes surgem serrados, as ligações entre pilares vigas e escoras são efectuadas com encaixes elaborados e as fundações são efectuadas com materiais duráveis como a pedra, por vezes com uma viga de soleira intermédia. Nas paredes pesadas os componentes melhorados são também serrados e as ligações de canto passam a contar com soluções mais elaboradas para assegurar não só a sua resistência, mas também a sua durabilidade e compatibilidade com a retracção natural da madeira, contando-se também com fundações de materiais duráveis para evitar a degradação dos toros inferiores. O sistema de paredes leves de pranchas e montantes pode ser considerado uma variação

dos porticados quando as pranchas são de reduzida secção e pode igualmente parecer mais uma variação das paredes de toros quando essas secções são maiores.

Na Europa Central em especial afirmam-se os reticulados pesados que deverão ter derivado dos porticados, recorrendo a elementos serrados e a ligações de encaixe entre os diversos componentes. À medida que as exigências funcionais em termos de dimensão dos espaços se tornavam mais prementes, requerendo maiores vãos livres (no caso das construções rurais) ou um crescimento em altura (no caso da construção urbana), os porticados por si só apresentariam limitações, desenvolvendo-se as estruturas reticuladas, primeiro como complemento dos porticados e depois como solução global (veja-se a evolução do “*cruck system*” para o “*box system*” no Reino Unido). No entanto o domínio dos reticulados pesados justifica-se não só pelas necessidades funcionais mas também pelas condições do contexto onde surgem. Estas soluções surgiram principalmente em zonas de florestas de espécies folhosas devido à limitação que estas colocavam à dimensão dos componentes, mas poderão ter-se desenvolvido também em locais onde a floresta inicial teria sido intensamente destruída, conduzindo à escassez de árvores de grande porte. Por outro lado devido às exigências técnicas, este sistema surge naturalmente onde há já um sistema elaborado de organização dos ofícios e de controlo, desenvolvimento e partilha de conhecimento. Um facto importante do seu sucesso, pelo menos inicial, nos meios urbanos residia no facto de ser por natureza um sistema fácil de revestir adequando-se às exigências de segurança contra incêndio. No entanto, no caso dos reticulados pesados que os primeiros colonos transportaram para a América do Norte, a adaptação às condições locais não foi a melhor, conduzindo ao desenvolvimento de sistemas porticados revestidos com perfis de madeira, utilizando pranchas ou componentes secundários de menor secção para assegurar a rigidez do conjunto.

No século XIX, a evolução para os reticulados leves a partir dos porticados dá-se principalmente na América do Norte. Na Europa, um processo semelhante estaria a ocorrer, mas com um desenvolvimento dos reticulados pesados para os reticulados leves numa procura que tendencialmente visava o aligeiramento das estruturas. Este será um progresso motivado pelo desenvolvimento tecnológico (a indústria de serração e de pregos e os transportes, nomeadamente o comboio), pelas suas vantagens económicas e por um conjunto de outros factores favoráveis (leveza e simplicidade).

Os sistemas leves, pela facilidade do seu transporte, gozaram ainda da vantagem de serem especialmente vocacionados para a pré-fabricação. A sua disseminação associa-se principalmente a processos de colonização e migração e em contextos onde a pressão do mercado exigia processos de oferta eficazes e económicos: na fábrica um conjunto de componentes formam um elemento e com vários elementos prontos na obra executa-se mais rapidamente a construção final. Outro factor que foi preponderante para o sucesso dos reticulados leves foi a sua flexibilidade arquitectónica uma vez que a estrutura é sempre revestida com um sistema independente e aberto a variações, permitiu sempre suportar desde as soluções estéticas mais tradicionais às mais contemporâneas.

No século XX, cada um dos sistemas construtivos tradicionais é otimizado com recurso aos novos produtos derivados de madeira. Os lamelados colados substituem a madeira maciça na construção porticada e nas paredes pesadas e os ligadores metálicos substituem as ligações com entalhes de madeira ou pregos. Os painéis de contraplacado, de fibras e de partículas conduzem a novas soluções de painéis leves industriais reticulados, substituindo as pranchas e os laminados pregados. Mais recentemente os painéis de lamelados colados surgem como

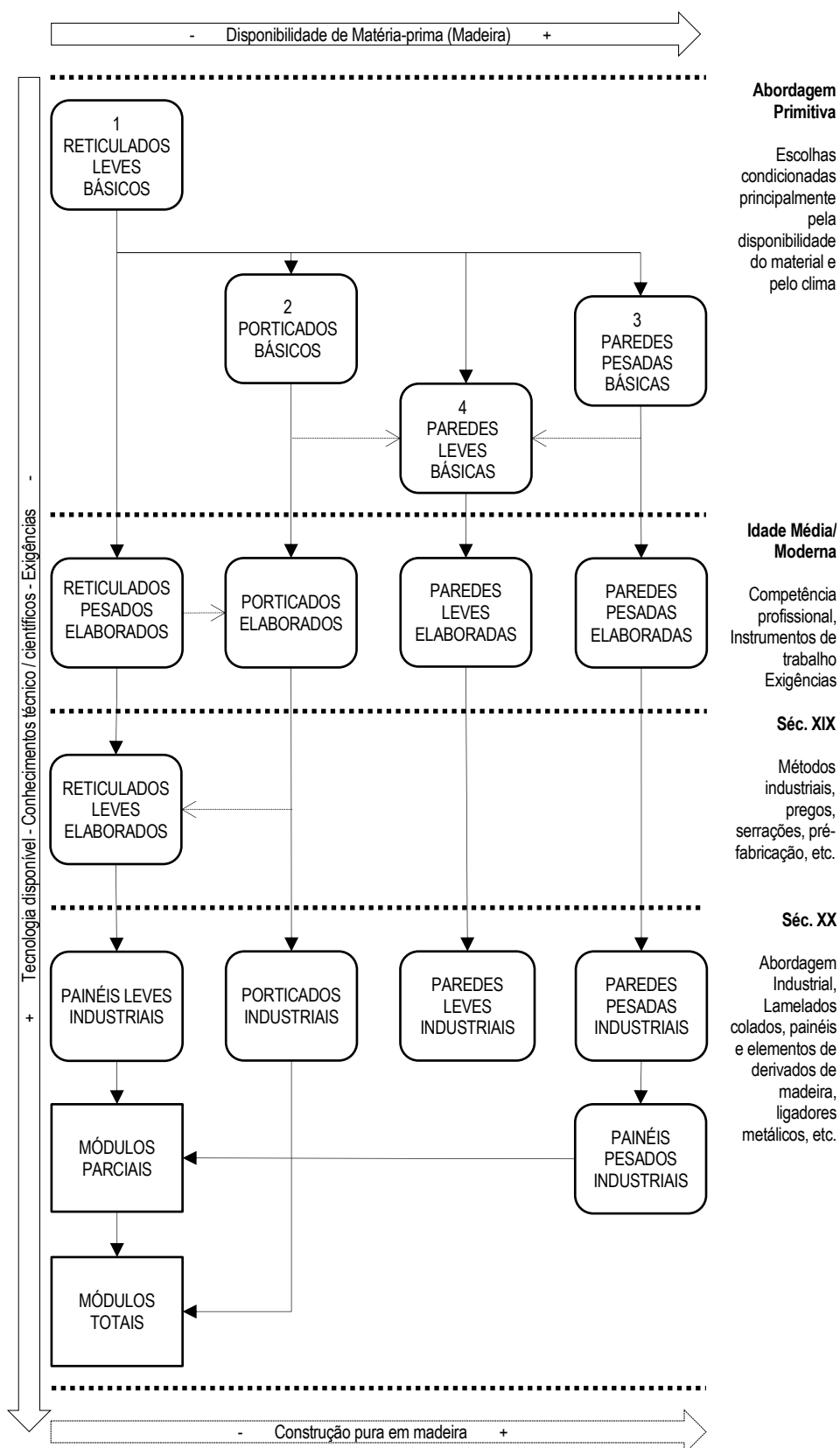
uma solução que por um lado parece estar na continuidade das paredes pesadas de toros e das pranchas pregadas, mas por outro parece ter um comportamento mais semelhante ao do betão do que ao da madeira maciça. Por último, a pré-fabricação, associada ao desenvolvimento de módulos parciais e módulos totais surgiu no século XX como a provável solução do “problema da habitação para as massas”.

Quanto aos condicionantes da forma, de entre os apresentados (disponibilidade de materiais, eficácia tecnológica, eficácia económica, resposta ao clima e resposta cultural), no século XX, é não somente a escassez de recursos, mas também a sua eficácia económica e tecnológica (comportamento e durabilidade) que vai justificar a utilização extensiva dos derivados de madeira, colocando a madeira maciça quase em segundo plano. O desenvolvimento do cálculo estrutural permite levar ao limite o aligeiramento de alguns sistemas, reduzindo-se as secções e eliminando alguns dos componentes tradicionais em alguns sistemas (como nos reticulados leves).

A resposta ao clima conjugada com uma resposta funcional (aos actuais modos de vida) e o apuramento das exigências de conforto terão conduzido à alteração de muitos tipos estruturais e de envolvente, alterando-se também a sua componente arquitectónica, em especial nos porticados e nas paredes pesadas onde os elementos deixam de ser exclusivamente em madeira maciça e se introduzem cada vez mais revestimentos e isolamentos. No caso dos reticulados leves, por exemplo aumentam-se as secções dos prumos (em relação às dimensões comuns do passado) para comportar maiores espessuras de isolamento térmico.

A resposta cultural do século XX é tanto responsável pelas práticas conservadoras de manter um determinado tipo estrutural, como acontece na América do Norte, como pelo desejo de inovação que conduz à procura de novas respostas, como acontece actualmente na Europa, nomeadamente com os painéis de lamelados colados. De qualquer modo, a resposta mais importante em relação ao desenvolvimento dos sistemas de madeira relaciona-se com a forma como a cultura da responsabilidade ambiental se consolidou nas sociedades mais avançadas, impulsionando a utilização e optimização dos sistemas de menor impacto ambiental.

Fluxograma 2 - Síntese da evolução dos sistemas construtivos.



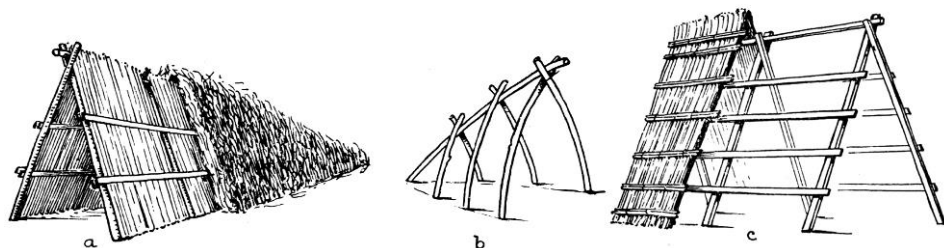


Fig. 119 - Abrigos fixos de materiais vegetais a) Canas com palhas de fava b) Esqueleto de abrigo c) Canas dispostas em duas águas (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, Construções primitivas em Portugal, 1994).

## 1.2 ESPECIFICIDADES NACIONAIS

### 1.2.1 CULTURA

#### 1.2.1.1 A TRADIÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA EM PORTUGAL

Tal como para outras zonas geográficas já abordadas no primeiro capítulo apenas se podem fazer conjecturas sobre as "origens" da construção em madeira em Portugal. Os recursos disponibilizados pelos antropólogos sobre as construções primitivas actuais descrevem soluções que permitem imaginar como terão sido as construções iniciais. Recorrendo a Ernesto Veiga de Oliveira, Fernando Galhano e Benjamin Pereira, que na obra "Construções Primitivas em Portugal" (1994) registam aquelas que serão as construções mais elementares encontradas no nosso território, encontram-se alguns dos abrigos mais básicos que quase invariavelmente recorrem à madeira, se não no seu todo, pelo menos parcialmente (cf. Figura 119). O aproveitamento dos materiais locais e o baixo nível de transformação dos mesmos é uma das características distintivas das construções que surgem na obra destes autores. Estas seriam, no relato dos autores, *"formas arcaicas de construção, com muito limitadas possibilidades de desenvolvimento e que correspondem por isso a estádios de vida e cultura simples e primitivos"* (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 8). Nesta obra foi feita a distinção entre abrigos e construções propriamente ditas<sup>49</sup>.

A par dos abrigos naturais (cavernas, grutas) e seminaturais, o homem pré-histórico terá desenvolvido construções de materiais vegetais *"rapidamente perecíveis"*, não tendo por isso deixado vestígios. Assim, as suas formas só poderão ser alvo de meras especulações (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 30). De entre os abrigos fixos, destacam-se três tipos: as pequenas cabanas de cobertura-parede, as de planta circular e as de planta quadrada. O seu princípio construtivo consiste numa estrutura com elementos rígidos e um revestimento de *palha milha*, *palha caniça*, giesta e outros materiais, por vezes sobre um forro mais consistente (uma *"camada de varedo"* por exemplo). Nos abrigos móveis integram-se as esteiras e choços dos pastores (cónicos e semicónicos) e os abrigos compostos (integrando os tipos anteriores). Neste caso, o uso da madeira está associado a uma exigência de primeira importância: a leveza essencial para possibilitar a mobilidade.

Apesar da análise da Arquitectura vernacular não nos dar conta de uma tradição vigorosa de estruturas habitacionais de construção integral em madeira, vários autores referem que a prática e o conhecimento da construção em madeira existiu até determinada altura (Mateus,

<sup>49</sup> Os primeiros serão simples elaborações para protecção temporária, de carácter por vezes móvel e sem identidade regional. Os segundos seriam já obras de uso permanente, habitacional ou outro, com "nítida diferenciação tipológica ou regional" (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, Construções primitivas em Portugal, 1994, p. 8)





120 - Casas de ressalto em Lisboa (Fotos autor).



121 - Casas de ressalto no Porto (Fotos autor).



1960) (Appleton J. , 2000) (Cachim, 2007). A interrupção dessa tradição é um dos factores que explicará em parte a dificuldade actual na aceitação e adopção de soluções alternativas em madeira. Não podemos contar hoje - como o fazem muitos países - com o papel positivo da tradição para incentivar o seu uso<sup>50</sup>. Sobre essa tradição perdida (em meados do século XX) diz João Appleton (2000) que:

*"(...) o mestre Carpinteiro era o verdadeiro Arquitecto dos edificios, substituindo nessa função o mestre pedreiro e o alvenel que pontificavam nas construções militares e civis de maior importância"*<sup>51</sup>.

Outros autores como Paulo Almeida (2010) apontam como exemplares dessa tradição as construções medievais ainda existentes em Lisboa e Porto, os armazéns e habitações em Aveiro, as baixas pombalinas de Lisboa e Vila real de Santo António e as estruturas de gaioleiro. José Manuel Fernandes acrescenta a essa lista, os centros urbanos de Lamego, Guimarães, Vila Real e Chaves (Fernandes, 1996, p. 222). Todos estes casos correspondem a soluções em que a madeira é uma solução estrutural parcial e onde os revestimentos são efectuados com outros materiais. Paulo Cachim (Cachim, 2007) considera que os casos dos palheiros do litoral e da gaiola pombalina<sup>52</sup> são excepcionais no panorama nacional e assinala a fraca qualidade da madeira produzida em Portugal como justificação para a reduzida ocorrência entre nós de estruturas integrais em madeira.

### A Tradição urbana

Sobre os edifícios urbanos anteriores a 1755, é referido na obra de Nuno Teotónio Pereira e Irene Buarque (Pereira & Buarque, 1995), "Prédios e vilas de Lisboa", o tipo de "casas de andares e ressalto" como sendo "característico da zona norte da Península". O ressalto (cf. Figuras 120 e 121) seria uma forma de obtenção de espaço adicional nos pisos superiores e corresponderia ao prolongamento do vigamento que assim possibilitava o apoio das paredes em consola<sup>53</sup>.

José Manuel Fernandes (Fernandes, 1996, p. 220) associa a estrutura de madeira dos edifícios de "andares de ressalto" à "taipa" no norte e ao "frontal" no sul. Aponta este autor como origens prováveis deste tipo a Arquitectura de madeira de "complexas estruturas cruzadas em fachadas e finas paredes resistentes internas" nos territórios do "Centro e Norte da Europa, onde as florestas fornecedoras de boa madeira abundam" (Fernandes, 1996, p. 221). Haveria então uma tradição da "Arquitectura de madeira" no norte do país, justificada,

<sup>50</sup> A tradição é um dos factores referidos por Morlier (2000) para o ressurgimento do interesse pela construção em madeira.

<sup>51</sup> O mesmo autor (João Appleton) considera que o ponto alto da construção em madeira coincidiu com a invenção da construção pombalina vocacionada para enfrentar as preocupações relacionadas com o risco sísmico: um reticulado de grande flexibilidade e capacidade de dissipação de energia.

<sup>52</sup> Restringindo-se nos restantes casos às asnas de coberturas e pavimentos.

<sup>53</sup> A parede era constituída por um travejamento ligado ao pavimento que depois era preenchido por "pedra miúda ou tijolo". Apenas as paredes da fachada do piso térreo e as empenas seriam construídas em alvenaria de pedra. Os vãos de dimensão reduzida nos pisos superiores e as arestas (cunhais) eram guarnecidos com peças de madeira. O revestimento final seria no entanto o reboco que depois era caiado.



Fig. 122 - Parede de casa em Chaves (Foto autor).



Fig. 123 - Parede de casa em Bragança (Foto autor).

pelos contactos de Portugal com o Báltico, a Flandres e Inglaterra, associada ao *"predomínio de uma tradição germânica cristianizada a norte do Douro"*<sup>54</sup> (Fernandes, 1996, p. 221).

Na obra "Arquitectura tradicional Portuguesa" Veiga de Oliveira e Galhano (Veiga de Oliveira & Galhano, 1994, pp. 280, 281) tipificam a "casa urbana esguia e alta", distinguindo dois subtipos: a casa de pedra, mais comum e a casa de "fachada de tabique" anterior ao século XVII, mais antiga, mais pobre, com molduras, portadas e divisórias de andares em madeira<sup>55</sup>. Dizem os autores que a técnica mais antiga consistiria numa gaiola próxima do *fachwerk* germânico, e das gaiolas inglesas e francesas, mas revestida totalmente pelo exterior, sendo a mais moderna a do "fasquio". Os tabiques são considerados pelos mesmos autores em "Construções primitivas em Portugal" (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 314) *"paredes construídas em madeira e materiais leves, revestidos de argamassa"*. Mencionam depois três tipos de tabique: o primeiro é o tabique normal com tábuas montadas ao alto e às quais se prega o fasquio, podendo ser usadas em interiores ou exteriores em certas regiões<sup>56</sup>. O segundo existe num tipo de paredes exteriores em que há um esqueleto de prumos verticais, travessas horizontais e pontas de barrote dispostas em cruz e em diagonal cheios com tijolos maciços, usado em paredes divisórias entre dois prédios. Os autores referem-se ainda a um terceiro tabique exterior que surge em algumas zonas da Beira Alta: a taipa, *"formado por uma grade de barrote a prumo, que, no andar térreo, se elevam sobre um soco baixo de pedra"*<sup>57</sup> (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, Construções primitivas em Portugal, 1994, p. 315).

As técnicas construtivas de paredes exteriores e interiores são designadas na obra "Diálogos de edificação" (Teixeira & Belém, 1998) como sendo a "taipa de fasquio" e a "taipa de rodízio". A primeira consiste numa estrutura de tábuas de madeira dispostas na vertical (a prumo) com um segundo pano de tábuas na diagonal pregado sobre elas e travadas com um ripado horizontal (fasquio). A segunda é constituída por uma estrutura de vigas de madeira com um preenchimento dos vazios com tijolo de burro e argamassa. Machado, Dias, Cruz, e Custódio (2009, pp. 28-30) descrevendo os mesmos sistemas, distinguem igualmente dois tipos: as "paredes de tabique" não estruturais das "paredes de frontal" com funções estruturais.

<sup>54</sup> Cultura em coexistência com outra diferente no centro e sul do país.

<sup>55</sup> Em Guimarães as casas seiscentistas são descritas no levantamento da Arquitectura popular em Portugal, como tendo embasamento de granito no rés-do-chão, encimado por paredes de taipa rebocada, onde em alguns casos *"conforme a tradição medieval, fazem-nas salientes em sacadas sucessivas, de perfil recortado, procurando no exterior o espaço que lhes falta por dentro"* (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 1º Vol., 1988a, p. 93).

<sup>56</sup> Varandas fechadas das áreas rurais nortenhas, e por exemplo nas paredes dos corpos altos do Médio e Baixo Douro, nas trapeiras, varandins e andares suplementares; fachadas sobre um andar térreo de alvenaria especialmente nos andares de ressalto.

<sup>57</sup> *"(...) distanciados 30 a 40 cm com ripas horizontais a eles pregados em ambas as faces, a 20 a 30 cm umas das outras; os vazios entre estas peças enchem-se de seguida com uma mistura de barro e palha amassada com água"* (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 315).



Fig. 124 - Fasquiados e vigas de pavimento visíveis nas fachadas de edifícios de resalto em Chaves (Fotos autor).

Das fontes consultadas detecta-se que há um conjunto de designações distintas para descrever, por vezes, as mesmas realidades. Por outro lado verifica-se também que as paredes estruturais de madeira surgem com uma grande diversidade de soluções nem sempre incluídas nas tipificações encontradas. Fonseca e Machado (Fonseca & Machado, 2011) efectuaram uma sistematização do universo de soluções encontradas em Portugal, distinguindo cinco tipos principais: 1) a madeira revestida com materiais vegetais; 2) a madeira com revestimento em tabuado; 3) a madeira com revestimento em argamassa; 4) a madeira com enchimento em argamassa; e 5) a madeira com enchimento em alvenaria.

A primeira solução corresponderia a um reticulado básico de montantes cravados no solo e associado às soluções das cabanas da zona do Sado e de Santo André (cf. Figura 137). A segunda solução seria também a de um reticulado já mais elaborado que por vezes se transforma num porticado, coincidindo com as soluções de palheiros do Litoral Central e dos Avieiros do Tejo (cf. Figura 135). A terceira solução (“tabique” ou taipa de fasquio”) seria uma estrutura de pranchas (tábuas costaneiras) dispostas na vertical, à qual se associa o ripado que recebe as argamassas (cf. Figura 126). A quarta solução coincide com reticulados pesados cujos vazios são preenchidos com argamassa de terra e estruturada por vezes com palha, sendo observadas em edifícios Urbanos do norte do país (cf. Figura 123). Finalmente a última solução é a de um reticulado pesado com o preenchimento em alvenarias (cf. Figura 122), identificado com a “taipa de rodízio” em Guimarães e com outras variantes no Centro e Sul do país, assumindo ainda outras designações conforme as variantes regionais (“frontal à galega”, “enxaimel”, e a “gaiola pombalina”) (Fonseca & Machado, 2011).

A gaiola pombalina será o sistema construtivo de madeira mais estudado em Portugal pela sua singularidade e pelo seu relevante carácter sistemático. A sua concepção e adopção coincidiu com a reconstrução de Lisboa pós-terramoto sendo inventada como um sistema construtivo especialmente pensado para oferecer condições de segurança em situação de catástrofe<sup>58</sup>. A gaiola basicamente é construída por um jogo de prumos e de travessanhos, sendo estes últimos ligados por “mãos” às paredes (França, 1987). Jorge Mascarenhas (2009) considera que:

*“alguns sistemas como a gaiola em si não são inovadores, o que é inovador é o seu emprego sistemático e a vontade de aplicar uma série de princípios que garantissem construir com rapidez e segurança”. (Mascarenhas, Sistemas de construção - V O edifício de rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa. 3ª ed., 2009)*

Os edifícios pombalinos tinham por base uma estrutura reticulada tridimensional formada por paredes, pavimentos e cobertura. Fonseca e Machado (2011) distinguem três tipos de parede neste sistema: a “gaiola” no interior das paredes de fachada, os “frontais”, interiores, também

<sup>58</sup> José Augusto França (França, 1987) dá também nota - no contexto da reconstrução pós-terramoto - da importação de barracas pré-fabricadas de madeira, construídas na Holanda, para responder às “necessidades mais urgentes da população de Lisboa”. Viriam em kit e poderiam ser montadas em 24 horas sendo consolidadas com “massa de gesso”.





Fig. 125 - Fachada de edifício no Porto (Foto autor).



Fig. 126 - Fachada de casa em Manteigas (Foto autor).

associados a alvenaria, para suporte de pavimentos e os “tabiques com função de compartimentação.

As paredes de frontal, pombalinas têm espessuras entre 150 a 200 mm, sendo constituídas por barrotes de madeira (prumos, travessas e diagonais, com dimensões mínimas de 80mm e máximas de 140mm. Os frontais com vãos são delimitados por elementos adicionais (vergas e pendurais). As madeiras utilizadas predominantemente nas paredes, para além do Pinho, do Castanho, do Carvalho, do Sobre e do Azinho eram as de Acácia, Criptoméria, Eucalipto e Choupo (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, pp. 28, 29).

As paredes de tabique, onde geralmente se utilizava madeira de Pinho têm constituição variável, sendo a mais vulgar a de tábuas ao alto justapostas, sendo por vezes pregada uma segunda camada na diagonal, às quais é pregado um fasquiado para suporte do reboco. As paredes de tabique apesar de teoricamente não serem paredes portantes desempenham também uma função estrutural que pode ser importante em caso de sismo, assegurando a ligação entre diversos elementos estruturais e substituindo a função de outros elementos estruturais eventualmente degradados (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 29).

Os pavimentos eram constituídos por vigamento e soalho, sendo esta a solução corrente nos edifícios até aos anos 30 do século XX. No vigamento era frequente utilizar-se elementos de “rolaria” falqueados nas faces superior, ou nesta e na inferior, para receber o soalho e o forro. Os diâmetros variavam entre os 0,10m e os 0,30m para comprimentos entre 4m e 7m. As espécies utilizadas eram as espécies locais, utilizando-se para soluções mais exigentes as madeiras exóticas, nomeadamente para o vigamento principal, sobre o qual se aplicava um secundário. Na construção pombalina utilizava-se frequentemente a Casquinha e o Pitespine, sendo depois substituídas pelo Pinho bravo, mantendo-se o domínio do Castanho no Norte do país. No início do século XX, para os vigamentos utilizam-se elementos de madeira esquadriada, tendo as vigas largura entre 0,07m e 0,14m e alturas entre 0,16m e 0,25m, apresentando afastamentos entre 0,40m e 0,50m. Nos vãos de maior dimensão normalmente utilizavam-se tarugos com secção iguais à das vigas intercalados entre elas. Os tarugos espaçavam-se entre 1,50m e 2,00m. A ligação às vigas era efectuada geralmente por meio de pregagem. Sobre o vigamento pregava-se o soalho com tábuas de solho de 20mm a 30mm de espessura, “à portuguesa” (com rebaixos nas extremidades) ou “à inglesa” (com encaixe macho-fêmea). O soalho contribuía para a rigidez e distribuição das cargas no pavimento. As espécies utilizadas eram a Casquinha, o Pitespine, o Castanho e o Pinho, havendo por vezes a utilização de espécies exóticas, como o Carvalho ou o Azinho em edifícios nobres. Em soluções de pavimentos decorativos, o revestimento final era aplicado sobre uma primeira camada de soalho (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, pp. 31-33).

Segundo João Guilherme Appleton (Appleton J. G., 2005), depois do terramoto, Lisboa assiste a um “*período de excepcional qualidade*” enquanto os edifícios de transição entre os



Fig. 127 - Palheiro de banhistas em Esmoriz (Foto autor).



Fig. 128 - Palheiro de banhistas em Esmoriz (Foto autor).

séculos XIX e XX designados por "gaioleiros" correspondem à "*decadência da gaiola pombalina*" através do seu abastardamento. Na Lisboa, dos anos 20 até à consolidação do Estado Novo, no âmbito da construção de edifícios há uma fase de degradação da qualidade da construção que coincide com: "(...) *um novo modo de promoção, impulsionado por um grupo de construtores tomarenses*" (Pereira & Buarque, 1995).

A estrutura de madeira em coberturas foi uma solução corrente até muito mais tarde quando a generalização do betão armado se consolidou definitivamente. As estruturas de cobertura mais simples e de vãos reduzidos, com recurso a madeira utilizam varas de madeira apoiadas em paredes exteriores de altura desigual, formalizando apenas uma água. Alternativamente recorre-se a um apoio intermédio (pode ser uma parede ou uma linha de fileira apoiada em prumos), com duas águas, formalizando falsas asnas. As estruturas mais elaboradas recorriam a asnas tradicionais, sendo o modelo base o da asna triangular simétrica do tipo "*king post*" (asna com pendural) para vãos de entre 7m a 8m ou *Howe* para vãos até 12m a 13m. A ligação entre os vários elementos das asnas era efectuada por entalhes com ou sem respiga, complementados com ferragens principalmente a partir do século XIX, encontrando-se soluções menos cuidadas com simples pregagens. Entre as várias asnas o contraventamento realizava-se através de madres apoiadas sobre as pernas das asnas ou mediante vigamentos de esteira (suspenso, apoiado ou intercalado) ao nível das linhas. As linhas apoiam nas paredes exteriores, ou em consolas de pedra ou ainda sobre um frechal de madeira encastrado na parede perpendicularmente à asna (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, pp. 25, 26).

Em Portugal continental, as estruturas de madeira que assumem maior importância coincidem com situações urbanas, como acontece com a gaiola pombalina, mas nas ilhas da Madeira e Açores, o caso parece ser diferente. Como refere José Manuel Fernandes (Fernandes, 1996, p. 239), a casa urbana praticamente exclui a "*aplicação de estruturas de madeira nas fachadas*", tendo-se imposto a "*Arquitectura da pedra*". Podem-se no entanto referir os exemplos de construção em madeira registados por Paulo Gouveia na obra "*Arquitectura baleeira nos Açores*". Este autor menciona a peculiaridade das casas do Faial e do Pico<sup>59</sup> que assumem:

*"mais o carácter de uma pequena casa de madeira do que o de uma água furtada tradicional (...) constituindo assim outro piso" ampliado à casa original*<sup>60</sup> (Gouveia, s.d., p. 74).

<sup>59</sup> Em S. Jorge, principalmente nas vilas, surgem as casas com torre: "*Construções em madeira que transportam a nostalgia de desenhos ecléticos de final do século patente no neogoticismo das vergas, nas varandas trabalhadas, no rendilhado da aba das coberturas*" (Caldas, et al., 2000, pp. 350, 351).

<sup>60</sup> Estes casos, diz o autor, terão sido influenciados pela arquitectura americana absorvida pelos açorianos que regressavam a casa depois de terem emigrado para os Estados Unidos da América num movimento de procura de melhores condições de vida que coincidiu com o dos baleeiros que acorriam às duas ilhas.



Fig. 129 - Palheiro de Mira, actualmente com uso de bar (Foto autor).



Fig. 130 - Palheiro de Mira num logradouro revestido com tábuas costaneiras na horizontal (Foto autor).



Fig. 131 - Palheiro Residencial em Mira (Foto autor).

As ampliações a que se refere Paulo Gouveia ocorrem nas casas com *torre* que surgem documentadas na obra "Arquitectura popular dos Açores"<sup>61</sup>. No Faial, nas casas de dois ou mais pisos, com tipologia urbana, o sótão é iluminado por uma grande torre, ou seja uma *"trapeira de grandes dimensões, em madeira ou alvenaria, construída no plano da fachada"* (Caldas, et al., 2000, p. 460). No Pico, nas casas de influência erudita quando são *"francamente urbanas"*, *"são frequentemente providas de uma torre, em alvenaria ou madeira, que coroa a fachada principal"*. Mas as torres e trapeiras marcam igualmente todas as outras casas urbanas<sup>62</sup>, sendo por vezes *"os locais de maior empenho decorativo de toda a construção"* (Caldas, et al., 2000, p. 402).

Nos Açores, para além das habitações surgem outras construções onde a expressão da madeira se faz sentir como se de pequenas casas se tratasse. Falamos dos *"impérios"*<sup>63</sup> onde a construção em madeira aparece com revestimento em tabuado horizontal. Outros dois casos de muito interesse são a *"vigia"* e o *"granel"*. O primeiro foi originado pela pesca à baleia e consistia num abrigo de observação<sup>64</sup>, construído em madeira e com tabuado horizontal. O segundo caso é o dos granéis fechados (porque os há abertos) que surgem como uma construção secundária associada à habitação<sup>65</sup> (na ilha de S. Miguel).

### A Tradição rural

O uso da madeira como componente estrutural parcial na Arquitectura rural portuguesa encontra nos pavimentos e nas coberturas soluções comuns onde se tira partido das características da madeira, principalmente em termos de leveza e resistência à flexão. As varandas de certas regiões são porém um exemplo onde o uso da madeira tem um impacto determinante nas características estéticas de algumas soluções arquitectónicas. O inquérito à Arquitectura tradicional Portuguesa oferece alguns exemplos e opiniões relevantes sobre o porquê deste modo de utilização parcial da madeira.

<sup>61</sup> Com menor expressão arquitectónica, surgem também as *gateiras*. No Faial estas surgem tanto nas casas térreas, como nas casas de mais pisos, como trapeiras de alçado triangular baixas e largas para iluminação do quarto do sótão (Caldas, et al., 2000, p. 459).

<sup>62</sup> Este elemento vai influenciar *"pequenas casas da periferia que imitam estes elementos construtivos para iluminação e ampliação de águas furtadas"* (Caldas, et al., 2000, p. 402) (nomeadamente com as *gateiras*).

<sup>63</sup> *"A genealogia do império é menos conhecida que a do culto que lhe deu origem. Quase todos os impérios estão datados (muitos do final do século XIX ou do princípio do século XX), podendo ter resultado da fixação em alvenaria das características de anteriores construções provisórias e desmontáveis. Ainda hoje as escadas de acesso a muitos impérios da Terceira são de madeira e montam-se somente durante os festejos"* (Caldas, et al., 2000, p. 551).

<sup>64</sup> É *"um pequeno posto de observação com um visor panorâmico virado para o mar para detecção da passagem desses animais e aviso aos baleeiros"* (Caldas, et al., 2000, p. 549).

<sup>65</sup> *"Celeiros para abrigar os produtos da terra"* que acompanham, como anexos, algumas casas e se apresentam com tabuado horizontal, mas por vezes vertical ou em escamas e por vezes sobre *"pequenos pilares de pedra ou alvenaria"* (Caldas, et al., 2000, pp. 129, 176-177).



Fig. 132 - Palheiros da Tocha com o piso inferior em alvenaria e o revestimento em tabuado vertical (Foto autor).



Fig. 133 - Palheiro da Tocha com varanda (Foto autor).

No levantamento da "Arquitectura popular em Portugal" (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 1º Vol., 1988a, p. 88) sobre a Zona 1, do Minho ao Mondego, da responsabilidade de Fernando Távora, Rui Pimentel e António Menéres, é dito que em certas regiões está muito difundido o uso da madeira (Monção, Amares, Braga, Póvoa de Lanhoso, Guimarães, Fafe e Terras de Basto). Um dos exemplos referidos é o das varandas de grande comprimento coincidindo funcionalmente com corredores de distribuição que marcam esta Arquitectura com a expressividade da madeira. Embora também se diga que não foi encontrada nenhuma casa onde se encontrasse o uso generalizado da madeira, refere-se no entanto que:

*"Tendo em conta o custo, facilidade de transporte e aparelhamento, que não exige mão-de-obra especializada como a do pedreiro, seria sem dúvida o material mais indicado para ser aplicado, sistematicamente, se não fora a sua curta duração. Duração tanto menor quanto maior a humidade do solo, aliás bem grande nestas regiões de forte pluviosidade"* (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 1º Vol., 1988a, p. 88).

A preocupação com a durabilidade das estruturas sujeitas a condições de elevada humidade é assim uma justificação encontrada pelos Arquitectos do Inquérito para não se encontrarem soluções integrais de madeira, mesmo onde a sua utilização se justificaria à luz de outros argumentos.

Na zona 2 do levantamento, estudada por Octávio Filgueiras, Arnaldo Araújo e Carlos Carvalho Dias, correspondente a Trás-os-Montes e Alto-Douro, chama-se pouco a atenção para a construção em madeira. Apenas se encontram algumas referências poéticas às varandas do Barroso, como a que se segue:

*"Contra a dureza crua da pedra, a que tudo parece rescender, acomodam-se onde em quando notas suaves das madeiras velhas das varandas, apagadas pelo tempo"* (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 1º Vol., 1988a, p. 180).

Na zona 3 estudada pelos Arquitectos Keil do Amaral, José Huertas Lobo e João José Malato, correspondente à Beira Alta e Beira Baixa e parte da Beira Litoral, há referências também escassas à construção em madeira:

*"No Paul (...) No último pavimento e a toda a largura correm varandas recuadas, com balaústres de madeira, alguns de gracioso recorte. Nas paredes dos andares superiores emprega-se com frequência a taipa de ripado e barro"* (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, p. 34).

Nas áreas do sul da Beira, "o xisto substitui o granito" e as vergas dos vãos são geralmente numa "madeira sólida e duradoira, quase sempre o Castanho. Madeira que com o correr dos anos acaba por dar um aspecto muito parecido com o próprio xisto" (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, p. 65). Ainda na Beira, a varanda, com muitos elementos em madeira, é um elemento característico da região, sendo considerado pelos autores como a elaboração mais adequada para o conforto que se consegue obter através da valorização do sol de Inverno (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, pp. 73-75).





Fig. 134 - Habitações de dois pisos na Costa Nova pertencentes a um mesmo sistema construtivo e formal (Fotos autor).

A zona 5, estudada pelos Arquitectos Frederico George, António Azevedo Gomes e Alfredo da Mata Antunes correspondendo ao Alto e Baixo Alentejo interior não apresenta elementos assinaláveis em madeira para além das estruturas de cobertura e pavimentos.

*"Se exceptuarmos uma reduzida mancha florestal de Castanheiros e Carvalhos na serra de S. Mamede, só dispomos em abundância de Sobro e Azinho, madeiras que, pela sua natureza, não se prestam à construção" (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 3º Vol., 1988, p. 51).*

### 1.2.2 A habitação integral em madeira em Portugal

No mapa tipológico da Zona 1 da "Arquitectura popular em Portugal" (Keil Amaral & AAVV, 1988a, p. 118), as construções em madeira do litoral, apesar de estarem parcialmente presentes nos limites da área estudada, não são referidas pela equipa de Fernando Távora. É na zona 4, explorada pelos Arquitectos Nuno Teotónio Pereira, António Pinto de Freitas e Francisco da Silva Dias que surgem as referências aos palheiros do litoral<sup>66</sup> como *"construções em madeira sobre estacaria; cobertura de telha; geralmente um piso"* (Keil Amaral & AAVV, 1988b, pp. 212-213). Dizem os autores que a construção em madeira é imposta pela presença do pinhal e ao mesmo tempo *"funciona de maneira correcta em relação ao chão arenoso e à humidade que o ar do mar traz consigo"* (Keil Amaral & AAVV, 1988b, p. 181).

Não há no "inquérito" propriamente uma tentativa de estudo sistemática, verificando-se algumas descrições avulsas que dão conta dos tipos de revestimentos (horizontais ou verticais), do isolamento eventual das paredes com caniços, do revestimento pontual com reboco pelo interior sobre o fasquiado, da elevação da construção sobre estacas ou pilares e das características de mobilidade associadas a estas construções (Keil Amaral & AAVV, 1988b, p. 183). Aponta-se ainda a morfologia de um ou dois pisos, com o piso inferior destinado a arrecadação. Descreve-se o espaço interior com uma sala em contacto com a rua ou a praia e a cozinha associada ao lado oposto (Keil Amaral & AAVV, 1988b, p. 214).

A relação próxima entre as estruturas em betão e em madeira, assinalada por diversos autores noutros âmbitos (cf. capítulo 1.1) é também, curiosamente, referenciada pela equipa da zona 4. Tendo considerado a adopção dos novos materiais (em especial o betão) como desordenada e frequentemente errada, são de opinião que:

<sup>66</sup> Fotos de palheiros da Tocha (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, pp. 182, 193, 207, 215), Praia da Vieira (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, pp. 147, 148, 182, 183, 186, 187, 214, 215), Costa de Lavos (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, pp. 183, 186, 214), Praia de Pedrógão, (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, pp. 183, 184, 187, 193), S. Pedro de Muel (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, p. 186), Praia de Mira (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, p. 186). Apresenta-se apenas um levantamento de uma casa de planta quadrada (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, p. 215) e uma "modesta pensão" para veraneantes em Pedrógão com o piso inferior em alvenaria que serve de arrecadação (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988b, p. 185).



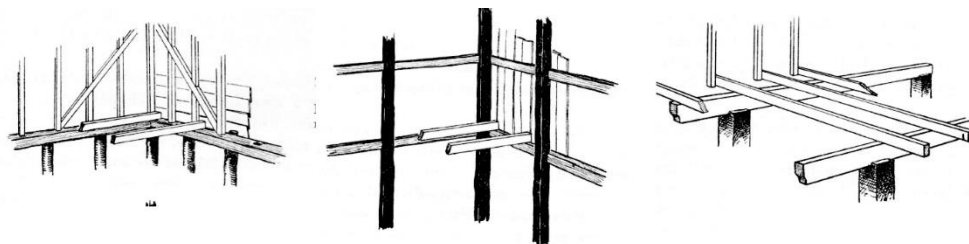


Fig. 135 - Tipos estruturais: tipo de Mira; tipo da Vieira e tipo de Esmoriz (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964).

*"Só na área da Arquitectura lenhosa a transição foi fácil pela noção de estrutura que a madeira inculuiu aos operários da região - as escoras, os pilares ou as vergas, conservando sensivelmente as dimensões da madeira, são construídas no novo material de uma forma espontânea e certa" (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, p. 193).*

O rarear das *"formas puras de construção em madeira"* é assinalado e justificado pelas disposições administrativas "discutíveis" que proíbem a construção e reparação de casas de madeira. Os autores rematam dizendo que:

*"É errado supor que os materiais tradicionais são incompatíveis com a habitabilidade das construções. Uma casa bem construída, de taipa ou madeira, pode satisfazer, se possuir equipamento e se não lhe for negada a conservação" (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, p. 186).*

Na obra *"Palheiros de Mira - Formação e declínio de um aglomerado de pescadores"*, Raquel Soeiro de Brito (Brito, 1981) aborda os vários aspectos de um lugar onde uma das peculiaridades é a construção em madeira. Na contextualização do seu trabalho refere-se às três zonas litorais desprovidas de arriba: Espinho-Cabo Mondego, foz do Sado-Cabo de Sines e a costa a leste de Quarteira. Essas seriam as zonas propícias à fixação de populações piscatórias.

A autora diz que a *"barraca de madeira"* com cobertura em estorno seria originalmente o único tipo de habitação para os pescadores. Na sua descrição, relata que as casas de madeira podiam ter dois e até três pisos, realizando-se o acesso geralmente por escadas exteriores *"que abrem para uma varanda de madeira"*. As chaminés eram também inicialmente de madeira, cobertas com folha de zinco; em vez do vidro usavam-se as portadas; os telhados apresentavam-se em telha de canudo, substituindo a cobertura original. Finalmente, a estacaria sobre a qual assentavam as casas para evitar a acumulação de areias acabava por ser, com o tempo, revestida com madeira, ganhando-se um espaço térreo para arrecadação (Brito, 1981, pp. 44-45).

Raquel Soeiro de Brito diz ainda que as casas mais pobres eram revestidas com tábuas horizontais, sendo as mais abastadas pintadas de vermelho e azul escuros e por vezes com o revestimento ao alto e com tapa-juntas (pintado de branco). Originalmente o espaço interior era amplo conjugando a cozinha e o quarto, com um forno de tijolo para cozer o pão de milho. A evolução do programa habitacional coincidiu com a autonomização de uma *"salinha para receber"* e com o aumento de divisão, por compartimentação, verificando-se ainda a ampliação do espaço para o exterior. A autora menciona várias vezes que o aglomerado com a sua construção característica *"está"* a desaparecer justificando tal fatalidade com a chegada de materiais alternativos. Afirma mesmo que a construção em madeira *"fica hoje muito cara e requer constantes concertos, principalmente nas casas que não são pintadas"* (Brito, 1981, p. 49). Em 1948, de 417 construções só 30 eram de alvenaria, mas em 1957 a *"construção de cimento"* correspondia já a um terço do total.

O trabalho fundamental sobre as habitações de madeira do litoral continua a ser a obra de Ernesto Veiga de Oliveira e Fernando Galhano *"Palheiros do litoral central português"* (Veiga



Fig. 136 - Cabanas na Praia da Saúde, Costa da Caparica (Fotos autor).

de Oliveira & Galhano, 1964). Neste trabalho, os autores pretendem tipificar a diversidade de tipos de casas de madeira, designadas de palheiros<sup>67</sup>, contra a tese de Rocha Peixoto<sup>68</sup> segundo a qual o palheiro de tabuado se apresentaria com uma *"imutável traça"*. Já nessa altura a preocupação em registar a realidade da construção em madeira do litoral era assumida como uma tarefa urgente uma vez que, como diziam os autores:

*"(...) é certo que a onda niveladora que caracteriza o nosso momento cultural em breve terá destruído todas as possibilidades de se saber como eram esses palheiros (...)"* (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 7).

O sector estudado por Veiga de Oliveira e Galhano (1964) correspondeu à zona da costa portuguesa entre Espinho e a Praia de Vieira de Leiria. Essa faixa costeira seria caracterizada pelo emprego de madeira na construção de casas (pelo menos a partir de finais do século XVII). Estas, na maioria das situações assumiriam *"características de construções palafíticas"* para evitar a invasão e acumulação das areias arrastadas pelo vento. O uso da madeira é explicado por vários factores: a ausência de pedra e barro, a dificuldade de transporte nas areias, a disponibilidade de madeira nos pinhais plantados ao longo da duna e finalmente pela sua leveza em relação a outros materiais.

A construção em madeira de Pinho, que segundo os autores quando em contacto com o "ar salino" se tornaria muito resistente (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 13), teria conservado as suas características elementares (a *"sua pureza originária"*) até aos princípios do século XX, à excepção da cobertura na qual se teria já substituído o colmo e o tabuado pela telha.

O afluxo de pessoas que procuraram as praias para os banhos de Verão, terá produzido novas necessidades e exigências que contribuíram para alterar as características dos palheiros. O revestimento horizontal por exemplo, terá sido substituído por um revestimento vertical obrigando a um reforço da estrutura com barrotes horizontais (o anterior tabuado horizontal seria pregado directamente aos prumos estruturais). Para além da Costa Nova, surgiu em Esmoriz e Cortegaça um novo tipo de palheiro. Na Tocha adaptam-se os antigos palheiros a moradias de Verão e em Mira surge um palheiro de vários pisos destinado a aluguer de andares (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 14).

Veiga de Oliveira e Galhano (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, pp. 103, 118) tipificam as formas de construção dos palheiros em função do seu sistema construtivo e área geográfica. Assim, são considerados cinco tipos: 1 - Palheiro de pau a pique revestido até ao solo com tabuado horizontal (Tipo do Furadouro); 2 - Palheiro de estacaria independente com grade

<sup>67</sup> *"Não há ainda 50 anos que só os proprietários abastados se podiam permitir ao luxo de assentar o seu palheiro sobre muros de adobes, e as casas, mesmo as de mais de um piso e de proporções avantajadas, eram quase sempre integralmente de madeira, desde as estacas ou prumos que lhe serviam de base, até à própria chaminé; o tabuado, estomo ou junco, que primitivamente as cobria sem dúvida, e que está provavelmente na origem do nome por que são designadas, parece ter deixado de se usar já nos fins do século passado e a telha caleira que os substitui e hoje se vê, era o único material que vinha de fora"* (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 13)

<sup>68</sup> (PEIXOTO, Rocha - Os Palheiros do litoral, in: "Portugália, I, Porto, 1899, p. 79-96)



Fig. 137 - Cabanas na Carrasqueira com as tábuas costaneiras horizontais para fixação do caniço (Fotos autor).

(Tipo de Mira); 3 - Palheiro de pau a pique com tabuado vertical a) palafítico e b) revestido até ao solo (Tipo da Vieira). Existiriam ainda dois tipos adicionais, um recente ("*uma invenção pessoal*"), o palheiro palafítico com vigas sobre estacaria (Tipo de Esmoriz) (cf. Figura 135) e os Palheiros sobre muros que corresponderia à introdução e mescla de materiais de construção de substituição.

A zona 6 do inquérito à Arquitectura popular em Portugal foi estudada pelos Arquitectos Artur Pires Martins, Celestino de Castro e Fernando Torres abrange o Algarve e Alentejo litoral até à bacia do Sado. A equipa que estuda esta zona refere-se a Olhão e à Fuseta como vilas recentes (séc. XIX), mencionando-se aí fontes que indicam a existência anterior de casas de cana: "*Estas cabanas de junco seriam semelhantes a algumas que ainda encontramos em Monte Gordo, praia de Faro, etc.*" (Keil Amaral & AAVV, 1988c, p. 148).

O uso de materiais como "*o colmo, o bracejo ou o estorno*" encontram-se em construções destinadas a habitação ("*pobres habitações de pescadores*") ou simples abrigo, indicativos do "*baixo nível económico*", encontrando-se não só no Algarve, mas também em diversos outros pontos da Costa<sup>69</sup>. Os autores sublinham que para além das soluções mais elementares de Monte Gordo e Praia de Faro, nos outros locais há uma maior elaboração, colocando-se uma estrutura de madeira que serve de base ao assentamento de bracejo (Keil Amaral & AAVV, 1988c, p. 208). No mapa tipológico da referida Zona (Keil Amaral & AAVV, 1988b, p. 213), surge descrito, entre outros, este tipo com as seguintes características: "*habitações de pescadores das costas arenosas; uma ou duas divisões; estrutura de madeira coberta de colmo ou estorno; pavimentos em terra*" (Keil Amaral & AAVV, 1988c, pp. 226, 227). Os locais assinalados no referido mapa corresponderão a Monte Gordo, Praia de Faro, Santo André e Comporta.

Na zona 4, que coincide em parte com a Estremadura e Ribatejo, surge indicado no mapa tipológico, o colmo para as coberturas e paredes nas zonas da lezíria ribatejana e da península de Setúbal (talvez Salvaterra de Magos e Fonte da Telha). As referências escritas ao colmo são breves e para além dos aspectos positivos que são assinalados: "*resulta económico*" e "*garante uma protecção eficaz contra as variações térmicas*", acentuam-se também os aspectos negativos: "*pouco duradouro*", "*cria bichos, arde com facilidade, não protege suficientemente da chuva*" (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, p. 188).

Além dos abrigos já referidos e identificados pelos autores da obra "Construções primitivas em Portugal" (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994) os restantes tipos de construções primitivas inteiramente em materiais vegetais são tipificados segundo a sua morfologia:

<sup>69</sup> As fotos (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 3º Vol., 1988c, pp. 189, 208, 209) que acompanham o texto são de Monte Gordo (V. R. de Santo António), Praia de Faro, Casa Branca (Alcácer do Sal), com uma construção integral em materiais vegetais e Palmela (Águas de Moura) com soluções mistas de alvenaria e colmo.



Fig. 138 - Cabanas no Patacão de Cima, Alpiarça, com uma estrutura híbrida entre o porticado e o reticulado (Fotos autor).

construções de planta circular e construções em planta quadrangular. As primeiras, de formato cónico iriam encontrar-se na Beira Baixa e no Alentejo. As segundas, de planta quadrangular teriam sido identificadas normalmente com a cobertura e a parede diferenciadas<sup>70</sup>, surgindo como habitação no Algarve, Santo André, Costa da Caparica e região do Sado<sup>71</sup>.

Veiga de Oliveira, Galhano, e Pereira (1994) consideram que este tipo de construção com materiais vegetais deverá ter aparecido primeiro no Algarve e depois caminhado para norte, encontrando-se referências a estas construções em finais do século XVII<sup>72</sup>. No litoral algarvio as "*cabanas ou palhotas, de junco, estorno ou barrão, ou palha*" marcavam uma presença associadas às actividades piscatórias. Eram utilizadas tanto como residência permanente como sazonal: "*apenas na época da safra*". Estas casas estruturam-se com um conjunto de prumos (*espeques*), sobre os quais por vezes assenta um frechal e a partir do qual se pregam ou amarram os *caibros*, unidos numa cumeeira<sup>73</sup>. A durabilidade de uma cabana seria de cerca de 20 anos:

*"A partir de então as reparações do revestimento tomam-se tão frequentes que é preferível substituí-la"* (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 198).

Em Santo André, com a chegada dos pescadores ilhavenses formou-se um aglomerado piscatório nos princípios do século XIX. As cabanas eram rectangulares, orientadas na direcção nascente-poente e com entrada virada a nascente (na empena)<sup>74</sup> (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 216).

Na Costa da Caparica o aglomerado piscatório com origem em ilhavenses e algarvios seria composto por construções eventualmente dos dois tipos (tabuado e palha) tendo as construções da tradição do sul dado lugar progressivamente às de tabuado de tradição do norte, para banhistas e pescadores, "*estas térreas, de pau a pique e de tabuado horizontal*" (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 225). Também com a Formação da Fonte da

<sup>70</sup> O tipo "cobertura-parede" para habitação foi considerado pelos autores como pouco frequente.

<sup>71</sup> No Alto Alentejo, Ribatejo e Estremadura (a sul do Tejo), serviriam normalmente como anexos de unidades agrícolas (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 192).

<sup>72</sup> Embora digam que elas "certamente (...) existiam desde tempos muito anteriores" (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 241).

<sup>73</sup> A madeira da estrutura era obtida através da recolha de peças que chegavam à costa. Entre cada dois prumos (e também entre cada dois caibros) faz-se uma malha de canas simples ou duplas (afastadas entre 30 a 50 cm). A ripagem faz-se também com canas amarradas (com corda de cairo ou arame) aos prumos e aos caibros ("o afastamento entre cada cana é regulado pela mão"). O revestimento final é realizado com junco ou barrão (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, pp. 194-196).

<sup>74</sup> A estrutura é composta por prumos de pinho (*espeques* ou *esteios*) afastados cerca de 60cm. Do frechal partem os caibros que são em número superior aos *espeques*. As ripas de cana são amarradas aos *espeques* e o mato (*bracejo*, junco ou caniço) fixa-se a estes. Há depois outras variantes, nomeadamente através de revestimentos interiores em barro ou com tabuado (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 219).



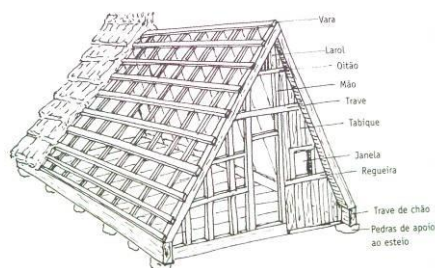


Fig. 139 - "Casa de Fio", Madeira (Mestre, 2002).



Fig. 140 - "Casa Redonda", Madeira (Mestre, 2002).

Telha em 1900 surgiram barracas de estorno e depois de tabuado. Estas edificações persistiam ainda em 1934, conforme é referido por Orlando Ribeiro<sup>75</sup>.

Na região do Sado, a poente de Alcácer do Sal, acompanhando a costa até Casa Branca e Melides surgiam *"núcleos mais ou menos importantes de cabanas deste mesmo tipo geral, constituindo habitação normal de uma classe pobre de trabalhadores rurais e salineiros"* (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 227). Os usos dos materiais vegetais são justificados pelos autores como uma exigência dos proprietários dos terrenos para evitar conferir direitos de posse à população residente. Estes permitem a instalação dos trabalhadores, mas apenas nas cabanas de materiais menos duráveis. O sistema construtivo é semelhante aos já anteriormente descritos<sup>76</sup>.

No Algarve Raquel Soeiro de Brito (Brito, 1981, p. 24) destaca o arraial da ilha da Culatra, no cabo de Santa Maria (a 13 km de Faro) *"onde se dispõem quase sem ordem poucas dezenas de casinhas de tábuas justapostas verticalmente assentes na areia cobertas de estorno"* (Brito, 1981, p. 24).

Na zona 4 do inquérito à "Arquitectura popular em Portugal", surgem referências breves às povoações de Avieiros, acompanhadas de fotos e do levantamento de uma casa avieira na quinta de Alqueidão (Keil Amaral & AAVV, 1988b, pp. 166, 167). O mapa tipológico de materiais desta zona, coincidindo em parte com a Estremadura e Ribatejo (Keil Amaral & AAVV, 1988b, p. 172), apresenta para além do litoral central, uma localização no Tejo identificada com as construções em madeira que marcariam a sua presença em vários pequenos aglomerados ao longo deste rio. As migrações de pescadores do litoral central para outros locais são descritas por Veiga de Oliveira e Galhano sublinhando que o término da época da pesca em Novembro impelia as pessoas a procurar outros meios de subsistência e a migrar:

*"(...) deslocando-se até à Borda-d'água e ao Sado para pesca no Tejo ou o trabalho dos arrozais e das valas, numa migração interna, definitiva ou periódica, que se tornou regular e normal, e baptizou os contingentes humanos das regiões costeiras da Ria, do Mondego e do Lis, com os nomes de caramelos<sup>77</sup> e avieiros, de "ir e vir" se são de retorno"* (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 12).

<sup>75</sup> Orlando Ribeiro: A Arrábida. Esboço Geográfico. Lisboa, 1935, p. 83 - Citado por Raquel Soeiro de Brito (Brito, 1981, p. 23).

<sup>76</sup> Os prumos distanciam-se cerca de 80 cm entre si. A trave de cumee (a fileira fica à vista fora das empenas e a partir dela lançam-se os barrotes até ao topo dos prumos com abertura de rasgos na triza. As ripas pregam-se do lado interior (afastadas entre 30 a 50 cm). O revestimento de caniço aplica-se por fora contra as ripas em duas camadas. O caniço é depois fixado definitivamente com tábuas costaneiras pregadas aos prumos. As ripas de cobertura são pregadas em intervalos de 20 a 30 cm avançando cerca de 35 cm sobre as empenas. Na cobertura espalha-se o caniço em duas ou mais camadas com uma espessura de 30 a 40 cm, sobre o qual se coloca bracejo. *"O revestimento da cobertura é preso por uma armação de canas cruzadas que constitui um dos traços originais das cabanas desta região"* (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, 1994, p. 230).

<sup>77</sup> Os caramelos do Mondego nas épocas mortas da safra deslocavam-se para trabalhar nas valas e arrozais do Tejo (Veiga de Oliveira & Galhano, Arquitectura tradicional Portuguesa, 1994, p. 274).



Fig. 141 - Habitações na Palhota com revestimento em painéis de contraplacado (Fotos autor).



Fig. 142 - Habitação na Palhota com tabuado vertical (Foto autor).

A barraca de avieiro *"em madeira de estilo palafítico aparece junto ao Tejo"* construída por pescadores vindos principalmente da zona de Vieira de Leiria, primeiro sazonalmente com destino à pesca do sável e às fainas do rio e depois com assento definitivo em vários núcleos agrupados nas margens do rio. Referenciam-se locais como a Palhota, as Caneiras e Escaroupim. Depois do *barraco* provisório ou da própria bateira assumida como habitação nómada agrupada em núcleos nas margens (*"em Alhandra, na Póvoa de Santa Iria, etc."*), os avieiros fixaram-se em vários locais com carácter mais permanente. A elevação das barracas em relação ao solo que no litoral servia para enfrentar a invasão das areias, no Tejo permitia conviver com as cíclicas cheias do rio. As barracas ora surgem com:

*"simples pés isolantes, ora com estacaria independente (...) e mostram claramente o mesmo sistema palafítico que outrora parece ter sido usado na Praia da Vieira: prumos espaçados erguendo-se do chão até ao telhado, soalho assente a perto de dois metros de altura, o tabuado disposto verticalmente em camisa e saia."* (Veiga de Oliveira & Galhano, *Palheiros do litoral central Português*, 1964, p. 100).

Recentemente, a cultura avieira tem vindo a ser redescoberta principalmente por acção do Instituto Politécnico de Santarém com o lançamento da candidatura da cultura avieira a património nacional. Nesse âmbito foi realizado um intensivo trabalho de levantamento das aldeias avieiras: "Construções palafíticas da bacia do Tejo Levantamento e diagnóstico do património construído da cultura avieira" por Pedro Lima Gaspar e João Palla (Gaspar & Palla, 2009).

Para além da zona da "arte da xávega", a obra de Veiga de Oliveira e Galhano (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964) refere outros territórios que vão para além desse conjunto, mas que acabam por ser "em grande parte" tributários dele. Identificam-se a norte de Espinho, na Figueira da Foz e a sul da Praia da Vieira<sup>78</sup> construções em madeira para habitação de pescadores, bem como na Costa da Caparica. Nesta última, a construção em madeira terá sido uma realidade que se encontra amplamente documentada. Para além do bairro velho dos pescadores, os autores identificaram o núcleo piscatório da Trafaria e um conjunto de pequenas habitações de veraneio que terão sido transportadas da Cova do Vapor para sul da Costa da Caparica<sup>79</sup>, num conjunto que ainda hoje existe (Praia da Saúde). Também na ilha de Faro os autores encontram o mesmo tipo de casas de madeira para banhistas *"de formas simples e variadas, pintadas de cores frescas e garridas"* (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 97). Para além destas localizações no litoral, os autores encontram vários outros núcleos de construção em madeira nomeadamente em vários pontos da ria de Aveiro, a norte e a sul do Vouga.

<sup>78</sup> A sul da praia da Vieira, nomeia-se São Pedro de Moel (terão existido casas de pescadores, mas os autores só identificaram "barracos recentes, de facção cuidada, de banhistas e veraneantes").

<sup>79</sup> "A tradição da construção em madeira e a falta de outro material local de construção, deu lugar, nos areais a sul da foz do Tejo, ao aparecimento de um género de pequenas habitações de veraneio (...) Constituindo até ao desaparecimento da língua de areia que se prolongava em direcção ao Bugio, o casario da Cova do Vapor, algumas delas foram levadas para sul da Caparica, e prolongam hoje esta povoação com uma linha de cerca de dois quilómetros de casinhas variadas" (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964, p. 96).



Fig. 143 - Casas na Cova do Vapor com diversos tipos de revestimento (Fotos autor).

Os mesmos autores, no texto "Palheiros e barracos do litoral" de 1964, republicado na "Arquitectura tradicional portuguesa" (Veiga de Oliveira & Galhano, Arquitectura tradicional Portuguesa, 1994, pp. 259, 260) referindo-se à zona a norte do Douro até ao Minho, identificam a "casa de madeira" como sendo corrente entre pescadores e cabaneiros<sup>80</sup>. Por exemplo na Póvoa de Varzim, referem que *"até aos princípios deste século (XX), a casa do pescador poveiro era ainda muitas vezes de tabuado, térrea e acanhada, com uma única divisão"* (Veiga de Oliveira & Galhano, 1994, p. 277). Justificar-se-ia este uso tanto pelo baixo custo da madeira como por razões culturais. Ou seja, a um modo de vida diferente do lavrador (que pelo enraizamento na terra constrói com pedra), corresponderia uma construção *"improvisada, incerta, provisória, quase volante"*. Mas referem também os autores que a norte do Douro os "barracos de praia" são em geral para abrigo momentâneo e armazém de materiais de pesca e de sargaço (Veiga de Oliveira & Galhano, 1994, p. 265).

As construções em madeira associadas à pesca são também referenciadas na "Arquitectura popular em Portugal" (Keil Amaral & AAVV, 1988b, p. 207), nomeando as seguintes zonas: Figueira da Foz, Nazaré, Peniche, Ericeira, Cascais, Sesimbra e Setúbal.

*"O esmero que a gente do mar põe nos seus instrumentos de trabalho mantém-se igualmente na habitação: protegem-na com o óleo queimado das traineiras, a que adicionam pigmentos baratos e pintam os vãos com as sobras das tintas vivas dos barcos"* (Keil Amaral & AAVV, Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol., 1988, p. 207).

Nas ilhas da Madeira e Açores, a "casa de pedra" ter-se-á tornado o modelo dominante de habitação rural, embora a "Arquitectura de madeira" se manifeste pontualmente com grande carácter. José Manuel Fernandes (Fernandes, 1996, p. 300) identifica dois tipos em que o uso da madeira é integral: as casas de madeira e palha designadas por cabanas, choupanas ou palhotas (Fernandes, 1996, p. 301) e as casas de madeira e pedra com telhado (Fernandes, 1996, p. 305). No primeiro tipo encontram-se dois subtipos: as designadas casas de Santana<sup>81</sup> da Madeira, com uma fachada na empena e três águas, com estrutura de madeira e cobertura de colmo e um outro subtipo com paredes verticais de madeira e quatro águas cobertas igualmente com colmo. O segundo tipo surge nos Açores (Faial e S. Miguel) apresenta-se como uma casa<sup>82</sup> *"em que um piso em madeira, com cobertura em telha se sobrepõe sobre um piso térreo em pedra que corresponde à cozinha: os quartos erguidos sobre a loja"* (Fernandes, 1996, p. 305).

As referidas casas de construção integral em madeira na ilha da Madeira, foram estudadas com alguma profundidade na obra "Arquitectura Popular da Madeira". Vítor Mestre (2002) empreende uma tipificação dos edifícios de habitação da ilha, coerente com a de José Manuel Fernandes. O tipo principal será designado como a *"Casa elementar de cobertura de palha e paredes de madeira"*, e é dividido depois em três subtipos: *"as casas de fio ou de empena, meio fio e a casa redonda"* (Mestre, 2002, p. 109).

<sup>80</sup> "(...) trabalhadores pobres e sem terra que se dedicam à apanha do sargaço"

<sup>81</sup> As casas de Santana na Madeira, serão segundo José Manuel Fernandes (Fernandes, 1996, p. 299), manifestações endógenas justificadas pelo *"quadro inicial do povoamento, onde era preciso começar subitamente, partindo do "grau zero"*

<sup>82</sup> "(...) surge pontualmente nos Açores (Lomba, Faial; Ribeira Quente, São Miguel)"

As "casas de fio" são aquelas em que a armação da cobertura revestida a palha apoia directamente nas "traves de chão" longitudinais, que por sua vez apoiam em pedras de apoio. Materializam-se assim quatro planos: duas águas laterais, uma de topo e opondo-se a esta, uma fachada-empena onde se faz a entrada e se abrem os vãos de iluminação e ventilação<sup>83</sup>. Diz o autor que:

*"A armação é uma espécie de quadro onde todas as peças se encaixam e ajustam perfeitamente. Quase se poderiam ter montado em série, com componentes construídas em estaleiro. No entanto a sua construção era tradicionalmente executada no local (...). Em certas circunstâncias estas casas eram transportáveis para mudar de sítio ou simplesmente para as renivelar" (Mestre, 2002, p. 109).*

As "casas de meio-fio" são uma inovação relativamente recente, elevando-se a estrutura da cobertura cerca de 90cm acima do solo, dando lugar a paredes laterais. Inicialmente essas paredes continuavam a ser em madeira, mas adoptou-se mais tarde a alvenaria. Neste tipo, é vulgar ver-se aproveitado o desnível do terreno para a utilização de um piso inferior. Já a "casa redonda" que surge em Santana e São Jorge tem uma planta rectangular e uma cobertura de quatro águas em palha.

*"Uma das características fundamentais destas casas será a sua excepcional carpintaria expressa na elevação das paredes e respectivas assemblagens, e nas janelas de correr exteriores e nas portas de correr" (Mestre, 2002, p. 115).*

No continente, os vestígios, adulterados, que hoje existem de todas as manifestações da habitação rural em madeira assemelham-se em grande parte aos fenómenos de auto-construção desqualificados que é possível observar nas construções clandestinas. Veiga de Oliveira e Galhano (1964, pp. 113, 114) referem-se também este tipo de situações, ao longo de toda a zona costeira, onde os palheiros térreos (as recoletas) surgiam, "correspondendo aos níveis mais pobres da construção e da população". No entanto mesmo nas construções que ainda foi possível observar durante o ano de 2012, em alguns dos locais referidos, reconhece-se que elas expressam traços de estilo, próprios da construção em madeira.

A substituição da madeira pelo betão armado e pelo aço é o resultado, segundo João Appleton (2000) de um "duplo mito": a madeira passou a ser considerada um material precário, de reduzida durabilidade e estruturalmente limitado, enquanto o betão foi sobrevalorizado em todas as suas qualidades.

### **1.2.3 A habitação em madeira e os Arquitectos portugueses hoje**

Entre os Arquitectos mais mediáticos e com mais prestígio da Arquitectura portuguesa contemporânea (Álvaro Siza, Souto Moura, Carrilho da Graça, e Gonçalo Byrne), nenhum deles se terá interessado pela construção estrutural em madeira aplicada à habitação. As abordagens ao projecto que estes Arquitectos foram adoptando ao longo do tempo constituíram uma base de influência para os seus contemporâneos. A Arquitectura que fez escola em Portugal manifestou-se pela pureza das formas e pelo contraste luz/sombra, cujo princípio é muito compatível com a tecnologia da alvenaria, do betão armado e dos revestimentos rebocados e pintados de branco. Uma vez que a madeira estrutural nunca foi uma tecnologia explorada na Arquitectura de referência, a massa dos Arquitectos Portugueses que seguia de alguma maneira os cânones vigentes, também nunca encontrou motivação para se iniciar num campo desconhecido e arriscado.

Siza Viera, o Arquitecto Português mais influente na segunda metade do século XX, apesar de assinar diversas obras em que a presença da madeira é fundamental (na Casa de Chá da

<sup>83</sup> Por vezes faz-se o aproveitamento da altura da cobertura para um sótão.



Boa Nova e nas Piscinas de marés de Leça, por exemplo) não concebeu aparentemente até agora nenhuma casa integralmente em madeira<sup>84</sup>. Na casa van Middeltem-Dupont na Bélgica (1997-2003) ampliou as pré-existências de uma quinta com um edifício destinado a habitação onde réguas de Cedro vermelho dispostas na vertical dão expressão ao novo volume embora a solução estrutural não contemple a madeira. Também com a Casa Alemão em Sintra (2002-2007) Siza projectou uma estrutura em que a madeira se mostra como a sua expressão fundamental (cf. Figura 144), no entanto este material desempenha aqui, uma vez mais, apenas o papel de revestimento (Cecilia & Levene, 2008).

Carlos Castanheira é um dos Arquitectos portugueses que mais tem apostado e divulgado a madeira como material de construção. As soluções que adopta consistem no entanto em integrar outros materiais num diálogo franco com a madeira, tentando sempre expressar uma atitude não fundamentalista em relação à madeira. A sua casa em madeira na Quinta da Buraca (Vila de Cucujães) de 2001 eleva-se sobre uma plataforma de betão e surge daí para cima com *"pilares, vigas, forro, caixilharia, tudo em madeira trabalhada por bons artesãos"*, já o revestimento exterior *"resume-se a cobre"* (Castanheira, 2006). A casa do Avenal de 2003 é construída também com uma estrutura de madeira sobre as lajes de piso em betão e de algumas paredes de alvenaria. No exterior surgem *"paredes em pedras de xisto com cantarias e cunhais reforçados com pedras de granito. A frente sul é toda madeira e vidro (...)"*. A casa Adropeixe (2005-08) no Gerês apresenta uma estrutura porticada de madeira (cf. Figuras 145 e 161). A estrutura, pavimentos e tectos interiores são em Casquinha vermelha, sendo os pavimentos exteriores em Cumaru. As caixilharias são em madeira, os revestimentos das paredes são em cobre e as fundações são em betão com 52 pilares de madeira que erguem a casa do solo, aproveitando o declive do terreno (Tuttirév Editorial, 2010). As dimensões dos componentes de vigas e pilares são 7cmx21cm e os tarugos 7cmx10,5cm. A preocupação com a durabilidade é expressa nas protecções de cobre nos prumos e nas paredes exteriores. O Arquitecto Carlos Castanheira na Conferência C-6 Construir em madeira (10.02.2010) referia que duas das vantagens de construir com madeira são a necessidade de prever todos os problemas antes da obra e a minimização de resíduos na obra. Carlos Castanheira escolhe a madeira porque lhe fascina a sua materialidade e porque o processo acaba por ser um pretexto para pensar a construção:

*"Tal como construir um móvel, um grande móvel, construir com madeira obriga a prever, pensar, organizar, organizar o pensar; pois todas as infra-estruturas têm que estar previstas e instaladas antes e durante a construção que se torna montagem, onde a montagem é acto racional"* (Castanheira, 2011).

O atelier Arquipoorto juntamente com a empresa Modular System tem contribuído para alterar a imagem da construção em madeira, associando-a a formas arquitectónicas depuradas e bem detalhadas. Com Nuno Rodrigues Pereira em Vieira do Minho (Casa na Caniçada, Gerês), a Arquipoorto constrói uma casa com estrutura de madeira lamelada colada que representa bem essa atitude "inovadora" em Portugal (cf. Figura 146). A filosofia do atelier consiste em utilizar os materiais em bruto, sem revestimento ou placagens. Esta terá sido a primeira obra em que utilizaram a madeira como sistema integral. A estrutura de madeira assenta em muros de granito que funcionam como ancoragens. No dizer dos autores, tão importantes como as questões estilísticas são as questões tecnológicas:

*"(...) os problemas a resolver foram vários, entre os quais a questão da acústica, a da torção, e a resolução de problemas técnicos no encontro entre as vigas de madeira lamelada e os muros de pedra"* (Neves, 2007, p. 144).

<sup>84</sup> Terá no entanto, segundo Carlos Castanheira, realizado um projecto de alterações de uma casa pré fabricada para o proprietário da casa Alemão.

Vários exemplos apontam para uma nova atitude em relação à madeira por parte dos Arquitectos das gerações mais novas. Os Arquitectos Aires Mateus, com muita influência e eco nos media nacionais e internacionais, seguem uma abordagem conceptual, inovadora e experimental que os levou a integrar a madeira em alguns projectos. Por exemplo na Comporta partiram de duas construções em madeira e outras duas em alvenaria para concretizar uma Arquitectura elementar adoptando a linguagem do processo construtivo das cabanas em colmo do litoral Sul de Portugal (cf. Figura 147). A dupla Appleton e Domingos-Arquitectos tem colaborado com a empresa Jular na definição dos modelos que a empresa comercializa. A Tree-house por exemplo foi um projecto desenvolvido através de uma estratégia de modularidade que se pretendia que oferecesse a possibilidade de expansão por adição de módulos (cf. Figura 156). O projecto tem vindo a ser optimizado relativamente ao factor custo e design, no sentido de se obter uma maior receptividade por parte dos potenciais clientes: O resultado foi a "Tree-house 'Riga' variável". O atelier Plataforma de ARquitectura de Joana Carmo Simões e Susana dos Santos Rodrigues colaborou com a empresa Lacecal, tendo desenvolvido um projecto personalizado em madeira, a casa Penha-Flor<sup>85</sup> (cf. Figura 154), concebendo ainda a solução de um modelo standard para ser comercializado: a designada CED *eco design house* com capacidade evolutiva (cf. Figura 155).

Depois destes projectos fundadores de uma nova abordagem tecnológica à habitação unifamiliar muitas outras soluções de Arquitectura da habitação unifamiliar em madeira foram realizadas por Arquitectos portugueses. Para além dos projectos pontuais, os loteamentos e empreendimentos turísticos são uma modalidade que se evidencia como um campo forte de aplicação da construção em madeira.

O empreendimento Cocoon Eco Design Lodges na Comporta é constituído por 30 casas de madeira promovidas pela Modular System (cf. Figura 150). A nível comercial parece pretender-se transmitir ao mercado a mensagem de que se pode ter uma segunda habitação com custos muito controlados<sup>86</sup>. O empreendimento Zmar - Eco Campo Resort & Spa<sup>87</sup> em Odemira, com 50 casas em madeira, construídas pela Jular, para além da oferta turística promove a venda de modelos de casas em madeira com três tipos disponíveis<sup>88</sup> (cf. Figura 149). A Soyo Village<sup>89</sup> na Foz do Rio Zaire em Angola é um empreendimento que integra 150 casas de madeira construídas também pela Jular e projectadas por Alberto Oliveira, Sofia Passarinho e Emanuel Valente de Sousa<sup>90</sup> (cf. Figura 148). Podem ainda nomear-se outros empreendimentos em que a madeira é o material principal de construção e até a imagem de marca: o empreendimento Encosta do Paraíso na vila de Pevidém, Guimarães oferecendo um conjunto com apartamentos turísticos através de módulos, em aço e madeira (cf. Figura 153); a Quinta de Pentieiros em Ponte de Lima; o condomínio Areias de Mira da empresa Casema (cf. Figura 151); os "Chalés de Montanha" na Serra da Estrela da Turistrela (cf. Figura 152); o Pedras Salgadas Eco Resort e o Pestana Tróia Eco-Resort (cf. Figura 160).

Um exemplo de inovação ao nível do design das casas de madeira é dado pelo atelier MIMA Architects que com uma abordagem muito simples obtêm um resultado que se distancia da

<sup>85</sup> <http://penhaflor.blogspot.com/> (2010.12.29)

<sup>86</sup> A tipologia base é o T1+1 com 42m<sup>2</sup> custando 50.000 Euros, acrescentando o aluguer do lote. Estava previsto avançar-se com outro empreendimento semelhante com 60 unidades em Santiago do Cacém (Pereira, 2010).

<sup>87</sup> <http://www.zmar.eu/>

<sup>88</sup> A Zvilla T2 de 69,30m<sup>2</sup> e área útil de 39,50m<sup>2</sup> custa 39.700 euros; o Zmóvel T1 de 26,30m<sup>2</sup> e 19,14m<sup>2</sup> de área útil custa 23.400€. A construção e o sistema são da Jular.

<sup>89</sup> [http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=en&id\\_menu=187](http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=en&id_menu=187)

<sup>90</sup> Promovem-se "guest houses" com tipos de um a quatro quartos, com preços entre os 235 e os 530 mil euros, destinado ou ao cliente final ou a entidades financeiras (Marques, 2010).

linguagem tradicional da madeira (cf. Figura158). Como exemplo de inovação tecnológica pode-se apontar o resultado da colaboração (no âmbito de um trabalho de doutoramento) entre a DST Domingos da Silva Teixeira SA, que integra a Tmodular e o Arquitecto José Pequeno, docente da Universidade do Minho (cf. Figura 157). O sistema Energetic Modular Technology (Et3) consistiu em associar a madeira e o vidro num painel modular polivalente destinado à construção. A tt, Torre Turística transportável foi a solução específica onde foi aplicado o sistema Et3 com painéis estruturais de composição mista madeira-vidro.

A construção em madeira aplicada à habitação nos meios eruditos da Arquitectura portuguesa, apenas a partir do início do século XXI começou a ser entendida pelos Arquitectos como uma possibilidade com potencial arquitectónico. Os exemplos mencionados constituem apenas um conjunto reduzido das várias abordagens que com uma grande dinâmica as novas gerações têm levado a cabo. Parece ser evidente, pelos vários projectos que vão surgindo, que a utilização das estruturas de madeira, para além do argumento ambiental, representa uma possibilidade de renovação da Arquitectura Portuguesa.

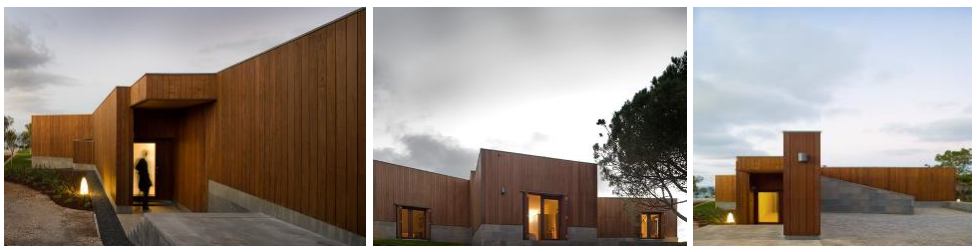


Fig. 144 - Casa no Pego, Sintra, 2007 - Álvaro Siza (<http://ultimasreportagens.com>).

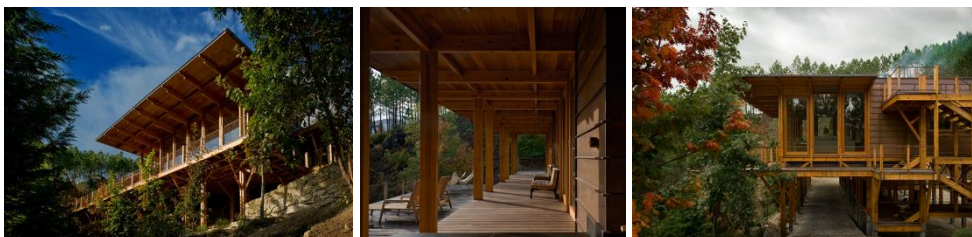


Fig. 145 - Casa Adropeixe, Terras do Bouro, Gerês, 2008 - Carlos Castanheira & Clara Bastai (<http://ultimasreportagens.com>).



Fig. 146 - Casa na Caniçada, Gerês, 2001 - Arquipoorto (<http://www.arquiporto.pt/>).



Fig. 147 - Casa na Areia, Comporta, 2010 - Aires Mateus (<http://www.archdaily.com/119742/casa-na-areia-aires-mateus>).





Fig. 148 - Wood Houses, Soyo, Angola - Hemisfério Sul (<http://noticias.sapo.pt/info/artigo/1176366>).



Fig. 149 - Zmar Eco Camp Resort & Spa (<http://www.cocoonlodges.com/#!/comportareservas/c23cz>).



Fig. 150 - Cocoon Eco design lodges - Arquiporto (<http://www.cocoonlodges.com/#!/comportareservas/c23cz>).



Fig. 151 - Areias de Mira, Praia de Mira, CASEMA (<http://www.casema.pt/obras/areias-de-mira>)

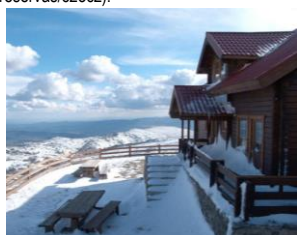


Fig. 152 - Chalés de Montanha, Serra Estrela - Turistrela (<http://www.turistrela.pt/?cix=588>).

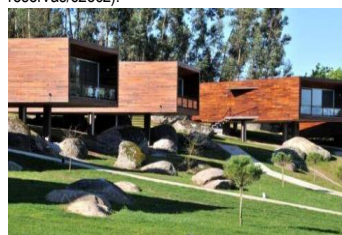


Fig. 153 - Encosta do Paraíso, Guimarães (<http://www.clubeparaíso.pt/portugues/encosta.php>).



Fig. 154 - Casa Penha-Flor - Lacedal, P.A.R - Plataforma de Arquitectura ([http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/personalizada/casa\\_penha\\_flor/](http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/personalizada/casa_penha_flor/)).



Fig. 155 - CED eco design house, Lacedal ([http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/em\\_ser ie/casa\\_eco\\_design/](http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/em_ser ie/casa_eco_design/)).



Fig. 156 - Tree House Riga e Tree House no Cabo da Roca, 2010 - Appleton & Domingos (<http://www.appletondomingos.pt/treehouse.html>).

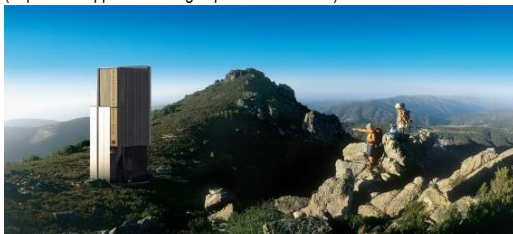


Fig. 157 - tt torre turística transportável e Et3 panel, José Pequeno e DST (<http://www.tttower.com/Default.aspx>).



Fig. 158 - Mima house, Viana do Castelo, 2011 - MIMA Architects (<http://www.archdaily.com/192043/mima-house-mima-architects>).



Fig. 159 - Pedras Salgadas Eco-Resort, 2012 - Luís Rebelo de Andrade & Diogo Aguiar (<http://www.archdaily.com/307297/pedras-salgadas-eco-resort-luis-rebelo-de-andrade-diogo-aguiar>).



Fig. 160 - Pestana Tróia Eco-Resort, 2012 - Arquiporto (<http://acidenapontadosdedos.com/2012/10/04/pestana-troia-eco-resort-o-ultimo-mergulho/>).

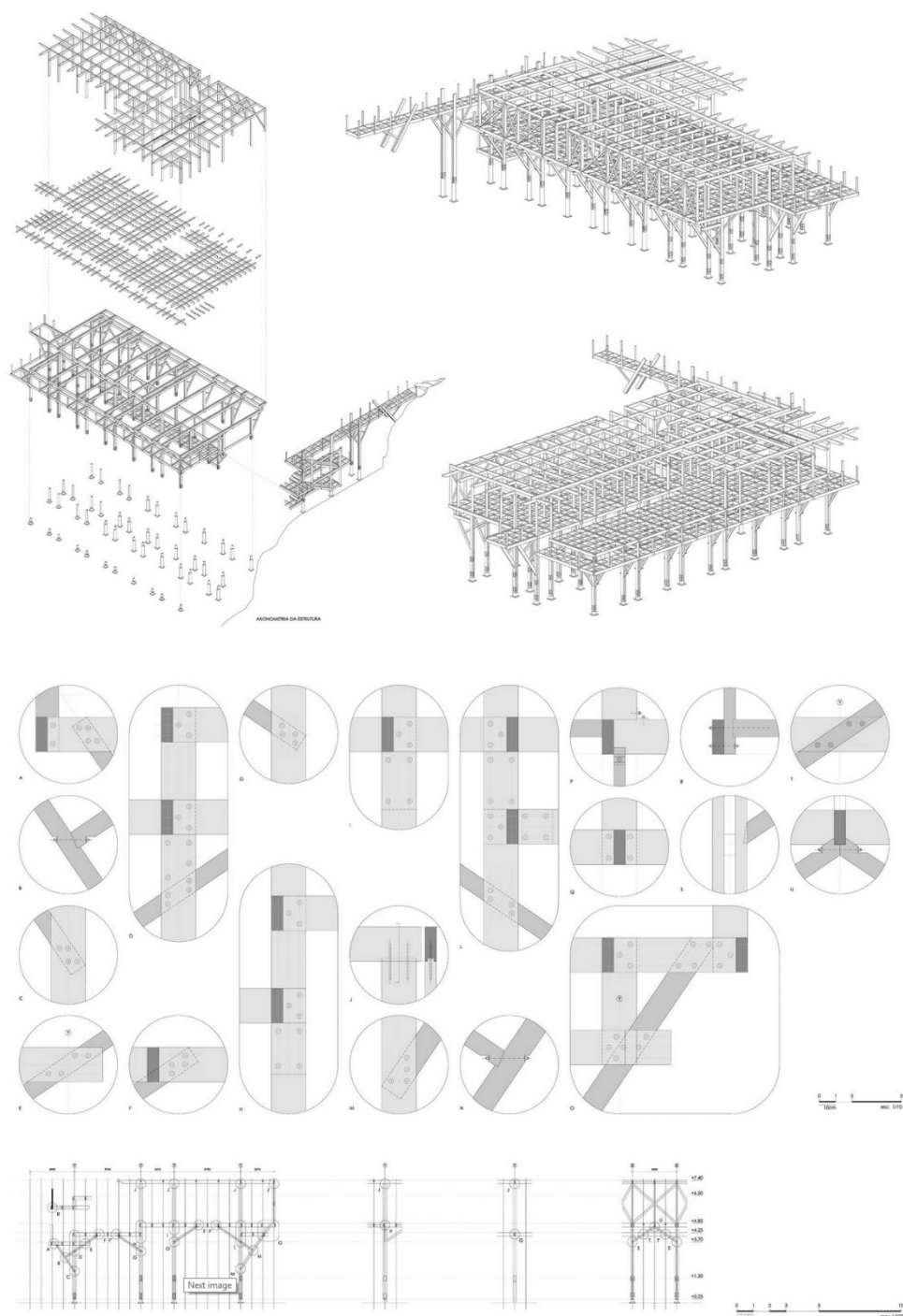


Fig. 161 - Casa Adpropeixe, Terras do Bouro, Gerês, 2008 - Carlos Castanheira & Clara Bastai  
(<http://www.archdaily.com/18822/casa-adpropeixe-carlos-castanheira-clara-bastai>).

## 1.2.4 FLORESTA

### 1.2.4.1 A EVOLUÇÃO DA FLORESTA NACIONAL

Os principais argumentos para defender a adopção da construção em madeira relacionam-se com o seu interessante desempenho ambiental, nomeadamente por ser um recurso renovável e por poder desempenhar um papel importante no sequestro do Carbono. Os argumentos tornam-se mais fortes ainda quando a madeira é um recurso local cuja matéria prima provém da mesma região onde é utilizado. Em Portugal a madeira é um recurso local abundante, mas a maior parte dos elementos estruturais de madeira são importados por razões que se

relacionam principalmente com o facto de não ter havido até aqui um mercado interno que impulsionasse a produção e oferta de madeira de qualidade estrutural.

Em Portugal continental, ao longo do século XX as áreas de espaços florestais aumentaram de forma significativa tendo como base principalmente a expansão do Pinheiro bravo e do Sobreiro até à década de 70 e do Eucalipto a partir a década de 50. Nos Açores e na Madeira assistiu-se também a um aumento da área florestal devido em parte à arborização de baldios por parte do Estado (DGRF, 2006).

Historicamente a protecção da floresta em Portugal, tem cabido ao Estado que tem criado Instituições responsáveis por manter e desenvolver um dos recursos mais importantes do país. Em 1824 foi constituída a Administração Geral das Matas do Reino que funcionava na dependência do Ministério da Marinha já que a construção naval estava dependente do fornecimento de matérias-primas da floresta. Em 1864 criou-se o Ensino superior florestal no Instituto Agrícola de Lisboa (DGRF, 2006). No início do século XX instituiu-se o Regime Florestal com os objectivos de arborização das dunas e de promoção do revestimento florestal nos terrenos de utilidade pública. O Estado pretendia garantir o bom “regime das águas” e a fixação do solo nas montanhas no Continente e nas Ilhas, promovendo nesse sentido a arborização de terrenos baldios (DGRF, 2006). O Relatório acerca da Arborização Geral do País de 1868 indicava como prioridade a arborização de área incultas do litoral, calculadas em 72 mil hectares, tendo o Regime Florestal (1901-1903) iniciado uma acção de arborização das zonas costeiras (DGRF, 2006).

Segundo a Estratégia Nacional para as Florestas, a evolução recente do sector florestal pode ser repartida em três fases. A primeira fase terá correspondido à expansão florestal, relacionando-se a segunda fase com a expansão industrial, associada a um aumento da taxa de utilização dos recursos, sendo a terceira fase, que é a actual, a que corresponde à melhoria da qualidade da floresta e dos seus produtos. A qualificação da floresta é no entanto um desafio que encontra resistências diversas começando pela percepção negativa que os potenciais investidores têm relativamente ao sector. Considera-se que o desafio da qualidade, ao implicar investimentos avultados, pode ser um passo demasiado arriscado para a dimensão do nosso mercado. Para além deste constrangimento, diversos factores de contexto poderão contribuir negativamente para que a mudança de perspectiva em relação à floresta se torne uma realidade. Os incêndios, as pragas e doenças invasoras, bem como a integração internacional (e os consequentes riscos de mercado), as alterações climáticas, a urbanização, e os riscos institucionais (DGRF, 2006), acabam por travar possíveis apostas inovadoras na floresta e nos seus produtos.

#### 1.2.4.2 A UTILIZAÇÃO DA FLORESTA NACIONAL

Estimava-se em 2001 o valor da produção anual da floresta do Continente em 1,3 mil milhões de Euros. Este valor era superior ao de outros países mediterrânicos, manifestando uma taxa de utilização da área florestal considerada eficiente (DGRF, 2006). A floresta gerava cerca de 113 mil empregos directos (2% da população activa) e o sector era responsável por 10% das exportações e 3% do Valor Acrescentado Bruto. As fileiras industriais eram constituídas principalmente pela serração, pasta de papel e cortiça. O número de serrações diminuiu de 732 em 1998 para 290 em 2005, assistindo-se no entanto a um fenómeno de concentração que permitiu a manutenção do volume de vendas. A pasta de papel, por seu lado, era responsável por 4 mil empregos directos, gerando a fileira da cortiça 12 mil empregos, com 828 empresas em funcionamento em 2003 (DGRF, 2006).

EM Portugal o sector florestal diferencia-se positivamente de outros países porque para além da cortiça e dos produtos madeireiros baseados no Eucalipto e no Pinho, há outro tipo de actividades associadas, como a produção de frutos secos (castanha e pinhão), a qual tem vindo a aumentar ao longo das duas décadas anteriores a 2004. Para além da pesca desportiva em águas interiores, a caça é outra actividade que fruto da organização em zonas florestais ordenadas (Turísticas, Associativas, Municipais e Nacionais) valorizam o seu uso (DGRF, 2006). A floresta é também um sumidouro de Carbono, podendo o crescimento e o consequente consumo de CO<sub>2</sub> ser contabilizado como compensação das emissões.

Na já referida Estratégia Nacional para as Florestas (ENF), aprovada pela resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006 de 15 de Setembro ENF (entretanto actualizada - Diário da República, 1.ª série - N.º 24 - 4 de Fevereiro de 2015), estabelece-se como um referencial orientador a utilizar em planos de acções públicas no sector florestal. Na ENF apontava-se a Floresta portuguesa como um caso de sucesso, justificado pelas condições ecológicas favoráveis por um lado e pela reduzida concorrência da agricultura por outro (DGRF, 2006, p. 9).

A propriedade da floresta nacional é principalmente privada, correspondendo esta a 2,8 milhões de hectares (84,2%), sendo as restantes áreas públicas. Os proprietários privados foram os principais responsáveis pelo aumento da área florestal, beneficiando por vezes de subsídios para florestação. Estabeleceram-se montados e plantaram-se pinhais, tendo sido a partir dos anos 50 que o eucalipto se começa a desenvolver e a substituir o pinhal. A floresta era tradicionalmente um investimento com taxas de retorno favoráveis, exigindo processos de gestão de baixa tecnologia, com trabalho manual, de sementeira directa ou de plantação à cova. A floresta teria capacidade para gerar rendimentos fundiários favoráveis (de 50 euros/ha/ano) se comparados com a agricultura de sequeiro, não subsidiada. Recentemente os apoios através de financiamento (quadros comunitários de apoio) têm contribuído positivamente para o desempenho florestal (DGRF, 2006).

As alterações climáticas poderão comportar alterações relativamente à distribuição dos diversos tipos de floresta no território nacional e também um aumento do risco de desertificação. As previsões, embora sob reserva, apontam para uma substituição a norte dos pinhais e eucaliptais por florestas que hoje têm maior presença a sul como o montado e a redução a sul das áreas ocupadas por floresta e a sua substituição por matos. As alterações climáticas caracterizam-se também pelo aumento dos fenómenos extremos (tempestades e ondas de calor por exemplo) cujos efeitos podem comportar para a floresta prejuízos significativos (DGRF, 2006).

Especialmente nefastos têm sido os incêndios que ocorrem associados a condições meteorológicas extremas. Este risco relaciona-se também com a alteração e abandono da população e das actividades tradicionais no espaço rural, e ainda com as reduzidas acções de vigilância, manutenção e gestão. As espécies que têm sido mais afectadas são o Pinheiro e Eucalipto. Para além de uma certa fragilização de várias espécies devido a problemas sanitários, o Pinheiro bravo justifica a sua mortalidade e perda de vitalidade devido ao Nemátodo da Madeira do Pinheiro (NMP), detectado como praga em 1999 nos pinhais da região de Setúbal. Este é considerado um organismo de quarentena pela legislação comunitária, obrigando à adopção de medidas que impeçam a disseminação da doença (DGRF, 2006). O tratamento fitossanitário da madeira a transportar é obrigatório, consistindo na secagem por secador, submetendo a massa total da madeira a uma temperatura que vai até aos 85°C (Santos, Duarte, Santos, & Luís, 2011).



Um outro factor adverso à economia da floresta relaciona-se com o fenómeno da internacionalização comercial, com a consequente penetração no mercado de países que conseguem preços finais mais baixos. O custo da matéria-prima nacional e a qualidade da matéria-prima, associada a modelos de gestão inadequados poderão encontrar problemas de competitividade nos mercados internacionais (DGRF, 2006).

A Estratégia Nacional para as Florestas define linhas de acção que incidem em primeiro lugar na redução dos riscos reais (incêndios e agentes biológicos). Em segundo lugar propõe-se uma especialização do território adaptada às previsíveis alterações climáticas e de contexto. Em terceiro lugar, aponta-se uma melhoria da produtividade, que deverá incluir uma gestão profissional com recurso a plantas melhoradas e a soluções mais exigentes. Em quarto lugar, a redução de riscos de mercado e aumento do valor dos produtos, e finalmente em quinto lugar, referem-se acções transversais que incidem noutros factores de contexto. O relatório da ENF conclui o seu diagnóstico referindo que há uma intervenção florestal inadequada: intervenção estatal em termos de instrumentos legais, figuras de planeamento, organizações e instrumentos financeiros de “complexidade crescente” (DGRF, 2006). A avaliação realizada à ENF em 2013 (DGPF - IESE, 2013) referiu que as metas relativamente ao combate aos incêndios, concretizadas através do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios foram atingidas (entre 2006 e 2010), embora no caso dos riscos associados aos agentes bióticos, se tenha registado um agravamento do impacto do Nemátodo da Madeira do Pinheiro (DGPF - IESE, 2013).

Com o objectivo de maximizar o valor económico da floresta a ENF prevê a macrozonagem (cf. Figura 162) do território em três tipos de áreas tendo por base o conceito de produção dominante: 1) área de produção lenhosa; 2) área de gestão multifuncional; 3) áreas costeiras e outras áreas classificadas. Assim, a área de produção lenhosa deve-se associar a uma silvicultura intensiva. Esta corresponde essencialmente a zonas de influência atlântica, não se limitando a importância estratégica nesta área ao Pinheiro bravo e ao Eucalipto, contemplando também outras resinosas e folhosas produtoras de madeiras nobres. As áreas de gestão multifuncional correspondem a uma produtividade lenhosa baixa, potenciando-se os produtos não lenhosos com destaque para a cortiça e os frutos secos (pinhão, castanha). Contemplam-se também actividades de pastagem, caça e recreio, prevendo-se sempre a preservação da paisagem e biodiversidade. As áreas costeiras e outras áreas classificadas corresponderão a áreas com especificidades que exigem a conservação da paisagem e da biodiversidade (DGRF, 2006).

A ENF prevê como uma das acções a implementar, a redução dos riscos de mercado através do aumento do valor dos produtos. Propõe-se a melhoria da competitividade da produção e dos produtos através de medidas com as seguintes vertentes: alteração e qualificação de práticas florestais e certificação; aposta na diversificação de produções e produtos florestais; e “Campanhas de sensibilização e promoção da floresta”. Esta última acção passaria pela *“mobilização de agentes para a utilização de produtos florestais, como por exemplo designers e Arquitectos”*. Refere-se a importância do sector da construção como potencial utilizador de produtos derivados de madeira e de cortiça. O seu uso na construção é salientado também pela criação de armazéns de carbono de longa duração, devendo por isso *“promover-se a sua utilização, por exemplo, através de mecanismos de discriminação positiva dos mesmos nas actividades da construção e remodelação de edifícios públicos”* (DGRF, 2006, p. 60). O sistema de planeamento em vigor para o sector florestal é o estabelecido na Lei das Bases da Política Florestal de 1996, integrando os Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF).

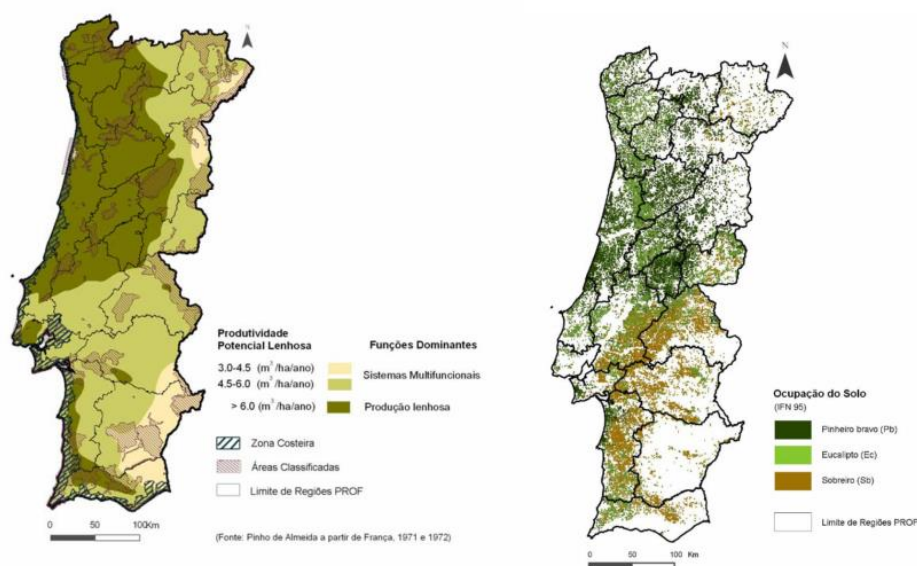


Fig. 162 - ENF - Mapa de macrozonagem de funções dominantes do espaço florestal à esquerda (Sistemas multifuncionais a creme e verde claro e produção lenhosa a verde escuro) e mapa de ocupação do solo, à direita (Pinheiro bravo a verde escuro, Eucalipto a verde claro e Sobreiro a Castanho) (DGRF, 2006).

A experiência dos países com tradição de construção em madeira permite afirmar que a utilização da madeira na construção conduz a uma floresta mais qualificada. O rácio entre o abate e o incremento da floresta<sup>91</sup> medido em m3 (valores de 2010) permite verificar que a Alemanha por exemplo (que tem o maior stock de madeira da Europa com uma floresta de cerca de 3,4 biliões de m3) abateu em 2010 apenas 55,7% da floresta aumentada. Os países nórdicos apresentam níveis considerados sustentáveis (abaixo dos 80%), com 40,9% na Dinamarca, 50,3% na Noruega, 65,3% na Finlândia e 83,8% na Suécia. No caso de Portugal o valor de 66,4% é favorável, mas não tanto como em Espanha onde a construção em madeira está mais desenvolvida e a percentagem é 36,2%. A França e o Reino Unido que têm efectuado um esforço baseado em políticas de incentivo à construção em madeira também apresentam valores favoráveis de 68,2% e 50,7% respectivamente (European Environment Agency, 2010). Países como a Suíça e a Áustria também muito fortes na construção em madeira, apesar de um saldo quase neutro, ou seja 99,1% e 93,5% respectivamente, apresentam no contexto europeu um dos maiores volumes de madeira por ha (a Suíça com 346m3/ha e a Áustria com 296m3/ha), próximas da Alemanha com 315m3/ha. Portugal e a Espanha apresentam dos valores mais baixos da Europa com 54m3/ha e 50m3/ha respectivamente (European Environment Agency, 2010).

A deflorestação que ocorreu historicamente na Europa e depois na América do Norte foi travada no século XX, como o demonstram também os valores já apresentados antes. A destruição da floresta, que é um problema global (e que ocorre principalmente em países com florestas tropicais), é segundo a FAO também motivada por processos intencionais relacionados com a conversão do solo para usos considerados como tendo um superior ao florestal (FAO, 2012). A atribuição de valor à floresta desempenhará portanto um papel essencial à sua manutenção e mesmo à sua expansão. Para além de um contributo adicional para o papel de sequestro do carbono que as florestas sustentáveis já assumem, a utilização

<sup>91</sup> Dado estatístico importante para avaliar o papel de sequestro de Carbono da floresta. Estimava-se em 2003 que o sequestro de Carbono proporcionado pela floresta Europeia era de aproximadamente 10% das emissões anuais de dióxido de Carbono.

de produtos florestais em geral e de produtos de madeira para a construção em particular constituem uma das formas mais eficazes de lhes acrescentar valor:

*"Connecting consumption and production in a closed cycle is another important aspect of a sustainable future. In an effectively integrated cycle of production and consumption, positive economic, environmental and social benefits can be sought and negative consequences avoided. (...) When managed under thoughtful stewardship, forest ecosystems generate a host of products and services that can be perpetuated. Forest products will therefore play an important role in a sustainable future in which sustainable consumption and production are linked in a closed cycle."* (FAO, 2012, pp. 33, cap. 3)

#### 1.2.4.3 A FLORESTA NACIONAL ACTUAL

Os resultados preliminares do 6º Inventário Florestal Nacional (Uva, 2013) permitem seleccionar as conclusões mais importantes para o período entre 1995 e 2010 (cf. Figura 163, Tabela 1 e Tabela 2):

- O uso florestal<sup>92</sup> é o predominante do território continental (3.154.800 ha - 35,4% em 2010).
- Entre 1995 a 2010 a área total florestal diminuiu (- 4,6%).
- Entre 1995 e 2010 a área arborizada aumentou (+0,4% por ano).
- O Eucalipto (dominado pela espécie *Eucalyptus globulus*) é a principal ocupação florestal do continente (26% - 812 mil ha), seguido pelo Sobreiro (23% - 737 mil ha) e depois pelo Pinho bravo (23% - 714 mil ha). (Uva, 2013). A sua área aumentou 13% - 95 mil ha.
- O Pinheiro bravo reduziu significativamente a superfície ocupada (-13%), tendo-se transformado estas superfícies em áreas de matos e pastagens, zonas de Eucalipto e espaços urbanos (Uva, 2013). Registou-se uma diminuição de cerca de 263 mil ha.
- A área de superfície arborizada ocupada por Pinheiro manso e Castanheiro aumentaram significativamente (+54% e +48%) (Uva, 2013).
- A área de superfície arborizada ocupada por Carvalhos aumentou 14%, embora a sua área total florestal (que inclui superfícies temporariamente desarborizadas) tenha diminuído.
- As espécies folhosas são dominantes em Portugal, ocupando 69% da superfície florestal contra 31% das resinosas.

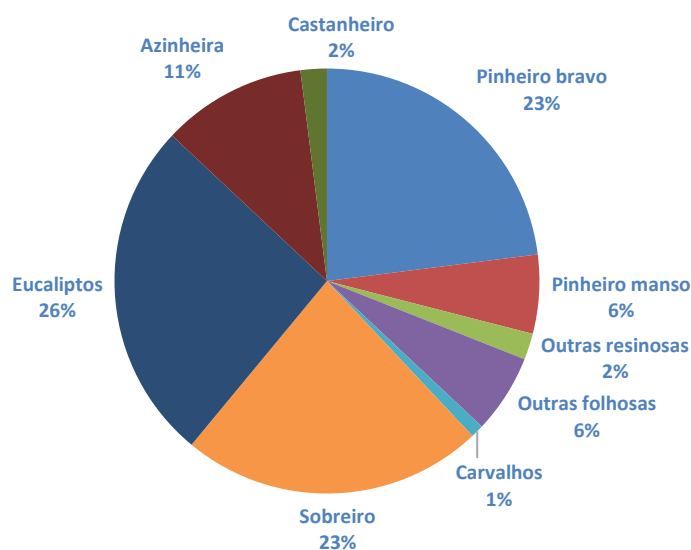


Fig. 163 - Distribuição e áreas totais por espécies/grupos de espécies (Uva, 2013).

<sup>92</sup> As áreas de uso florestal incluem as superfícies arborizadas e as superfícies temporariamente desarborizadas, mas para as quais se prevê superfície arborizada a curto prazo.

A redução da superfície florestal nacional não é considerada muito acentuada tendo em conta as perturbações a que se viu sujeita, nomeadamente pela acção dos incêndios e pela ocorrência de doenças como o “nemátodo da madeira do Pinheiro”. Segundo Uva (2013) nenhum outro país europeu terá estado sujeito a este nível de condições adversas. Mas apesar da diminuição da área florestal, a área arborizada aumentou, tendo diminuído as superfícies temporariamente desarborizadas, ou seja as áreas ardidas, cortadas e em regeneração que são contabilizadas como área florestal.

Tabela 1 - Áreas totais por espécie florestal dominante (Uva, 2013, p. 20).

Espécie dominante	1995	2005	2010
Pinheiro-bravo	997.883	795.489	714.445
Eucaliptos	717.246	785.762	811.943
Sobreiro	746.828	731.099	736.775
Azinheira	366.687	334.980	331.179
Carvalhos	91.897	66.016	67.116
Pinheiro-manso	120.129	172.791	175.742
Castanheiro	32.633	38.334	41.410
Alfarrobeira	2.701	4.726	5.351
Acácias	12.278	12.203	11.803
Outras folhosas	155.187	169.390	177.767
Outras resinosas	61.340	73.442	73.217

Tabela 2 - Espécies de árvores florestais mais comuns em Portugal continental (Uva, 2013, p. 32).

#### Espécies florestais mais comuns em Portugal

##### Resinosas

Pinheiro-bravo *Pinus pinaster*

Pinheiro-manso *Pinus pinea*

##### Outras resinosas

Pinheiro-de-alepo *Pinus halepensis*

Pinheiro-insigne *Pinus radiata*

Pinheiro-silvestre *Pinus sylvestris*

Ciprestes *Cupressus spp.*

Pseudotsuga *Pseudotsuga menziesii*

Criptoméria *Cryptomeria japonica D. Don*

##### Folhosas

Acácias *Acacia spp.*

Alfarrobeira *Ceratonia siliqua*

Castanheiro *Castanea sativa*

Eucaliptos *Eucaliptos spp.*

Sobreiro *Quercus suber*

Azinheira *Quercus rotundifolia*

Outros carvalhos *Quercus spp.*

Carvalho-português *Quercus faginea*

Carvalho-negral *Quercus pyrenaica*

Carvalho-roble *Quercus robur*

##### Outras folhosas

Amieiro *Alnus glutinosa*

Bidoeiro *Betula spp.*

Choupos *Populus spp.*

Faia *Fagus sylvatica*

Freixo *Fraxinus spp.*

Medronheiro *Arbutus unedo*

Salgueiro *Salix spp.*

Ulmeiros *Ulmus spp.*

\*spp. - Várias espécies

#### 1.2.4.4 FLORESTA NACIONAL NO CONTEXTO INTERNACIONAL

Portugal tem uma área florestal em relação ao seu território (35,4%) que se situa na média dos 27 países da União Europeia (37,6% em 2010), mas tanto o tipo de floresta como os produtos que dela se retiram, comercializam e consomem variam muito entre os diversos países. Apesar do contexto nacional e dos países do sul em geral ser diferente dos países do norte da Europa, há preocupações comuns que poderão promover estratégias de desenvolvimento comuns no futuro. A União Europeia não tem competências directas sobre o sector florestal, sendo as políticas florestais da responsabilidade de cada Estado membro, no entanto a actividade florestal relaciona-se com muitos temas que são objecto de políticas comuns Europeias como por exemplo o comércio e o ambiente. Existe uma Estratégia Florestal da União Europeia desde 1998 que assenta essencialmente na promoção do seu papel multifuncional e na gestão florestal sustentável. Adicionalmente foi também elaborado um Plano de Acção Florestal Europeia em 2006 (DGRF, 2006).

Dos compromissos internacionais e regionais de que Portugal é signatário, com incidência nos objectivos e no uso da floresta, destaca-se a ratificação por Portugal e pela União Europeia do Protocolo de Quioto (1997). Basicamente assumiu-se que a floresta tem um papel importante na redução das emissões de gases com efeito de estufa actuando como um sumidouro de Carbono. O Plano de desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa (DGF, 1998) estabelecia como objectivo um aumento anual do uso florestal de 2% entre 1998 e 2008 para promover a fixação do Carbono. O Plano considerava também importante promover a utilização da madeira nomeadamente em produtos de longa duração, para além da sua utilização e reciclagem, entre outras acções. O Plano Nacional de Alterações Climáticas, vai também ao encontro dos objectivos de melhoria da produção florestal, prevenção de incêndios, criação de sistema de certificação, melhoria da competitividade e investigação científica. Outros compromissos sobre a floresta são os que resultam das Resoluções das Conferências Ministeriais para a Protecção das Florestas na Europa (MCPFE), também referidas como Conferência de Viena (DGRF, 2006).

A floresta Portuguesa, como foi já referido, é o ponto de partida para três grandes grupos de indústrias: a cortiça, a pasta de papel, e as indústrias de madeira. Estas últimas incluem os sectores das serrações, dos painéis e aglomerados, das carpintarias e do mobiliário. Este conjunto de indústrias, excluindo o sector da cortiça tem por si só uma grande relevância económico-social (dados de 2008 apontavam para 50.000 trabalhadores e cerca de 5.000 empresas) (AIMMP, 2015). Mas de todos estes sectores nenhum se vocacionou para as estruturas de madeira. As serrações por exemplo concentram a oferta em produtos de madeira com qualidade reduzida, especializando-se em produtos de baixo valor. Esta realidade deve-se em parte à escassez e elevado custo da madeira de Pinho de povoamentos adultos.

As carpintarias, tanto as de pequena dimensão como as de maior dimensão concentram-se essencialmente na produção de pavimentos, portas e outros fornecimentos não estruturais para a construção civil. As empresas de painéis de partículas, fibras, folheados, contraplacados e lamelados, incluem unidades de grande dimensão e tecnologicamente avançadas, mais voltadas para o mercado internacional (AIMMP, 2015). Estas últimas não oferecem uma gama de produtos que cubram integralmente<sup>93</sup> a procura relacionada com os sistemas estruturais de madeira, embora em termos de potencial pudessem ter condições para inovar na área dos novos produtos estruturais de derivados de madeira.

<sup>93</sup> Alguns dos produtos produzidos terão aplicações estruturais como os painéis OSB e de contraplacado.

#### 1.2.4.5 ESPÉCIES DE MADEIRA NACIONAIS

Os componentes de madeira utilizados em Portugal anteriormente ao aumento de procura que a reconstrução pombalina originou, correspondiam às espécies locais, nomeadamente o Castanho e o Carvalho no norte do país, o Pinho-bravo na região centro-sul, surgindo o Pinho-manso a sul (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 25). Com a reconstrução pós terramoto, começou a importar-se madeiras, geralmente para edifícios de maior importância, pela maior estabilidade, superior resistência e grandes dimensões que proporcionavam. Nas estruturas antigas passou a integrar-se, para além das espécies já referidas, também a Casquina (*Pinus sylvestris*) e o Pitespine (*Pinus palustris*) e ainda outras madeiras exóticas (brasileiras, indianas e africanas). No entanto nas regiões do norte, o Castanho continuou a ter uma maior importância. A partir do século XIX o Pinho-bravo volta a dominar a construção (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 25), associando-se à adopção das soluções menos exigentes dos “gaioleiros”. Se no século XX no continente o Pinho e especialmente as espécies importadas dominaram a construção corrente, nas ilhas, designadamente nos Açores, têm sido utilizadas, para além do Pinho, espécies autóctones como a Acácia, a Criptoméria e o Eucalipto ou o Choupo (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 28).

Tabela 3 - Madeiras com maior aplicação em estruturas em Portugal (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 18).

<b>Madeiras com maior aplicação em estruturas em Portugal abrangidas por normas de classificação visual de madeira para estruturas (EN 1912:2004+A1:2007)</b>		
Espécie de Madeira	Normas de classificação mais relevantes	Classes de resistência abrangidas
<b>Resinosas</b>		
Abeto-branco ( <i>Abies alba</i> )	NF B 52-001; DIN 4074; INSTA 142	C30; C24; C18; C14
Espruce-europeu ( <i>Picea abies</i> )	NF B 52-001; DIN 4074; INSTA 142	C30; C24; C18; C16; C14
Larício-europeu ( <i>Larix decidua</i> )	NF B 52-001; DIN 4074; INSTA 142	C30; C27; C24; C18; C16; C14
Casquinha ( <i>Pinus sylvestris</i> )	NF B 52-001; DIN 4074; INSTA 142; BS 4978	C30; C27; C24; C22; C18; C16; C14
Pitespine ( <i>Pinus palustris</i> )	USA standard NDRDL*; BS 4978	C30; C24; C22; C18; C16; C14
Pseudotsuga ou Pinho-do-Oregão ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	NF B 52-001; DIN 4074; NGRDL*; BS 4978	C35; C24; C20; C18; C16; C14
Pinho bravo ( <i>Pinus pinaster</i> )*	NP4305	C18
<b>Folhosas</b>		
Câmbala ( <i>Milicia excelsa</i> )	BS 5756	D40
Carvalho roble ou carvalho europeu ( <i>Quercus robur</i> )	DIN 4074-5	D30
Eucalipto comum ( <i>Eucalyptus globulus</i> )	UNE 56546	D40
Gulu-maza ( <i>Nauclea diderrichii</i> )	BS 5756	D50
Tali ( <i>Erythrophleum ivorenses</i> )	BS 5756	D50

\* Embora não considerada na EN 1912, a norma portuguesa estabelece uma segunda classe de qualidade (EE), correspondente à classe de resistência C35.

Sendo o Pinho-bravo a espécie nacional que mais potencial terá para utilizar como material estrutural, também o Eucalipto e o Carvalho poderão desempenhar um papel importante. Santos Duarte, Santos, & Luís (2011) analisaram essas três espécies, consideradas como sendo as de maior interesse industrial. Os autores concluíram que a madeira de Pinho bravo apresenta uma resistência axial menor do que as da madeira de Eucalipto e Carvalho, no entanto a sua utilização pode ser compensada pela maior facilidade de transformação e a sua baixa densidade. Relativamente às propriedades transversais, o Pinho apresenta uma clara desvantagem em comparação com as outras duas (Santos, Duarte, Santos, & Luís, 2011). Quanto às potencialidades para a indústria da construção, concluiu-se que o Pinho bravo tem potencial para fabrico de componentes estruturais colados como vigas de suporte de pisos e coberturas (lamelados colados). Quanto ao Eucalipto considerou-se que este tem potencial para componentes estruturais de pequena dimensão, incluindo coberturas com componentes maciços, mas estará direccionado principalmente para revestimentos de pavimentos. O Carvalho negral, pela elevada durabilidade natural, vocaciona-se para o uso de componentes estruturais em ambientes de classe de risco elevada, sendo indicado também para

componentes estruturais de assentamento e revestimentos de piso (Santos, Duarte, Santos, & Luís, 2011).

Por fim, deve fazer-se uma menção à madeira de Criptoméria (*Cryptomeria japonica D. Don*), cuja espécie é originária do Extremo Oriente e que se adaptou com sucesso às condições dos Açores. É uma madeira com o cerne de cor rosado, acastanhado ou negro, com odor aromático, de serragem fácil, boa durabilidade do cerne relativamente a fungos e caruncho, embora vulnerável às térmitas. Esta madeira encontra várias utilizações potenciais na construção, sendo adequada para lamelados e contraplacados, lamelados colados, revestimentos, portas e janelas, treliças e telhados e mobiliário (Governo dos Açores, 2015). Algumas empresas nacionais como a Rusticasa e a Projectiform, utilizam a Criptoméria nas casas de madeira que produzem. Do ponto de vista estrutural encontra principalmente aplicação nos sistemas de paredes pesadas de toros.

### 1.2.5 REGULAMENTOS

Uma componente significativa das exigências de projecto de uma casa de madeira são expressas e garantidas por intermédio dos regulamentos e normas de cumprimento obrigatório (ou voluntário). A tarefa de fiscalizar e verificar o cumprimento das disposições legais nos projectos atribui-se em Portugal às Câmaras Municipais através do processo de controlo prévio.

Os elementos que devem instruir os pedidos de realização de operações urbanísticas são definidos na portaria n.º 232/2008 de 11 de Março (Portugal, 2008a). Para além do projecto de Arquitectura, sujeito às normas do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (REGU) e às normas técnicas de acessibilidades do Regime da Acessibilidade aos Edifícios e Estabelecimentos (Portugal, 2006), são exigidos nos processos de licenciamento de obras de edificação abrangidas por plano de pormenor, plano de urbanização ou plano director municipal (n.º 5 do artigo 11.º da referida portaria) os seguintes projectos de especialidades:

- a) Projecto de estabilidade que inclua o projecto de escavação e contenção periférica;
- b) Projecto de alimentação e distribuição de energia eléctrica (para moradias as Câmaras Municipais exigem apenas o preenchimento de uma ficha) e Projecto de instalação de gás, quando exigível, nos termos da lei;
- c) Projecto de redes prediais de água e esgotos;
- d) Projecto de águas pluviais;
- e) Projecto de arranjos exteriores;
- f) Projecto de instalações telefónicas e de telecomunicações;
- g) Estudo de comportamento térmico;
- h) Projecto de instalações electromecânicas, incluindo as de transporte de pessoas e ou mercadorias (caso estejam previstos elevadores);
- i) Projecto de segurança contra incêndios em edifícios (para moradias as Câmaras Municipais exigem apenas o preenchimento de uma ficha de segurança contra incêndio);
- j) Projecto acústico.

Todos os projectos em geral, definem soluções arquitectónicas e construtivas nas quais se integram diversos produtos de construção. A utilização destes produtos está condicionada à respectiva marcação CE ou à certificação da conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal (art.º 17º do RGEU). A análise da certificação da conformidade quando requerida pelos interessados é em Portugal da responsabilidade do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). A marcação CE é uma exigência do Regulamento EU n.º 305/2011



do Parlamento Europeu e do Conselho, que estabelece as condições necessárias para a sua aposição nos produtos de construção. Por sua vez, o Decreto-lei n.º 130/2013 executa na ordem jurídica nacional o disposto no mencionado Regulamento. A execução do regulamento é acompanhada pela Direcção Geral das Actividades Económicas (DGAE), com o acompanhamento do Instituto Português da Qualidade (IPQ) e com a cooperação do LNEC. À ASAE (Autoridade de Segurança Alimentar e Económica) compete a fiscalização do mercado.

Os projectos de construção de casas de madeira, para além dos regulamentos referidos estão também sujeitos a normas aplicáveis especificamente aos produtos de madeira cujo objectivo principal é a garantia da sua qualidade. O Sistema Português de Qualidade (SPQ) é coordenado pelo IPQ (organismo nacional coordenador) que tem como atribuição promover a elaboração de normas portuguesas, promovendo também o ajustamento da legislação nacional sobre produtos às normas europeias. As normas portuguesas resultam de um processo, com origem numa Comissão técnica (CT), que obedece a um conjunto de procedimentos pré-definidos (ante projecto, projecto, inquérito público e homologação). No caso de versões portuguesas de normas europeias a metodologia pode ser simplificada. As normas europeias, de acordo com as regras das organizações europeias de normalização (CEN e CENELEC) devem ser integradas no acervo normativo português<sup>94</sup>. A integração de uma norma europeia realiza-se através de homologação ou de adopção quando não for efectuada a versão portuguesa (IPQ, 2010). As normas são documentos com disposições de aplicação voluntária mas que em certas circunstâncias se podem tornar obrigatórias, nomeadamente quando essa obrigatoriedade for expressa em legislação.

Os regulamentos e algumas normas que interessa mencionar no caso específico das casas de madeira serão os que se relacionam com os seguintes factores de qualidade: uso, segurança estrutural, durabilidade, segurança contra riscos de incêndio, conforto, ambiente, estética e processo. Descrevem-se de seguida os aspectos fundamentais de cada um dos referidos factores, complementando-se estes com as informações constantes dos anexos.

#### 1.2.5.1 USO (CAPACIDADE, FUNCIONALIDADE, ACESSIBILIDADE)

As exigências de uso e os correspondentes regulamentos aplicam-se igualmente às casas de madeira e às casas construídas com outros materiais. No entanto a leitura dos regulamentos associados a estas exigências (capacidade, funcionalidade e acessibilidade) permite chamar a atenção para alguns aspectos que afectam especialmente a construção em madeira. Importa ter em atenção exigências, como as de acessibilidade, que podem entrar em conflito com algumas das soluções habituais na construção em madeira, como é o caso da disposição frequente de elevar substancialmente a cota de pavimento do solo. Outro aspecto importante a ter em conta reporta-se à utilização de produtos de construção e sistemas inovadores ou desconhecidos em Portugal.

O Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (Portugal, Regime jurídico da urbanização e da edificação, 2010a) define os conceitos de “edificação” e de “obras de construção”, permitindo eliminar as dúvidas que surgem recorrentemente (nos potenciais clientes) sobre a necessidade de licenciamento das casas de madeira. Uma casa de madeira é uma “edificação” e quando é também o resultado de uma construção que se incorpora no solo com carácter permanente, será por esse motivo sujeita às mesmas regras que qualquer outra

<sup>94</sup> Existem diversos graus de equivalência entre os documentos normativos europeus e internacionais e os documentos normativos nacionais. Os quatro graus considerados são: “idêntico”, “equivalente”, “modificada” e “não equivalente”. O grau deve ser identificado na folha de rosto e no caso de um documento “não equivalente”, não se adopta a referência do documento normativo internacional. Para além deste último, só o documento modificado contém alterações técnicas, embora claramente identificadas (Instituto Português da Qualidade, 2010).

casa. Poderia ainda pensar-se que uma casa de madeira se enquadraria na tipologia das “obras de escassa relevância urbanística”, mas esse tipo de obras, por definição, não podem ter uma área superior a 10m<sup>2</sup> e o RGEU não prevê habitações com esta área. Qualquer solução construtiva em madeira que possa funcionar como habitação e que esteja isenta de licenciamento enquadra-se noutra categoria que é a das caravanas (ou “mobil-homes”) para usos temporários e sem ligação à rede pública de infraestruturas.

O Regime da Acessibilidade aos Edifícios e Estabelecimentos (Portugal, Regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos, 2006) estabelece a necessidade, nas habitações unifamiliares, de prever um percurso acessível até à entrada nos espaços interiores. Nas casas de madeira, como já foi referido, por questões de durabilidade o piso térreo é em geral elevado do solo envolvente, exigindo nesse casos a integração de uma rampa ou de escadas complementadas por plataformas elevatórias. Os ressaltos de piso estão condicionados a tratamentos específicos dos bordos, devendo os ressaltos superiores a 2cm ser vencidos por rampas ou por dispositivos mecânicos.

#### 1.2.5.2 CONFORTO (HIGROTÉRMICO, QUALIDADE DO AR, ACÚSTICO)

Os projectos de casas de madeira novas são abrangidas pelo Sistema de Certificação Energética (SCE), sendo apenas excluídas aquelas que tenham área útil inferior a 50m<sup>2</sup><sup>95</sup>. Neste âmbito deve ser emitido um pré-certificado para efeitos de controlo prévio da operação urbanística em causa e deve ser emitido o certificado após a conclusão da obra.

Os requisitos de desempenho energético dos edifícios de habitação são estabelecidos no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). O regulamento promove o bom comportamento térmico e a eficiência dos sistemas técnicos, incluindo a minimização das condensações nos elementos da envolvente construída. Basicamente, a avaliação efectuada incide nas características e no comportamento da envolvente opaca e envidraçada, na qualidade da ventilação e nas necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento. Os valores limite referentes a cada um dos requisitos são fixados através de Portaria.

O comportamento acústico das habitações unifamiliares deve ser observar as disposições do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios - RRAE (Portugal, 2008c). Para esta tipologia específica, devem observar-se principalmente as diferenças de níveis acústicos entre o exterior e os quartos e zonas de estar, não se estabelecendo limites ao isolamento acústico entre quartos e zonas de estar da mesma habitação.

#### 1.2.5.3 SEGURANÇA ESTRUTURAL

A verificação através de cálculo das estruturas das casas de madeira deve reportar-se ao método definido no Eurocódigo 5 - Projecto de Estruturas de madeira (norma EN 1995-1-1:2004 e emenda EN1995-1-1:2004/A1:2008, tendo em conta as características dos materiais e componentes utilizados (propriedades mecânicas em função das classes de resistência). As acções a considerar no cálculo (pesos próprios, sobrecarga, neve, execução e acidente) devem ser referenciadas ao Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA). Igualmente importante para o cálculo da estrutura é a definição da zona sísmica do local onde se implanta a obra.

Não existe regulamentação nacional relativa ao “Eurocódigo 5 - Projecto de Estruturas de Madeira”, estando ainda por definir o enquadramento legal dos Eurocódigos, já que estes são

<sup>95</sup> Apenas os fogos de tipo T0 e T1 poderão caber nesta categoria (segundo o artigo 67.º do RGEU).

publicados como normas e em Portugal os regulamentos são publicados na forma de Decreto-Lei (LNEC, 2013). Apesar da limitação que consiste em não haver uma transposição oficial do Eurocódigo 5 para Portugal, os projectistas acabam por, na prática, recorrer a ele como base para o cálculo estrutural.

Cruz (Cruz, Casas de madeira - Panorama nacional, certificação, e homologação, 2013) estabelece uma divisão de âmbitos entre as casas de madeira: as resultantes de construção industrializada e as que seguem os procedimentos dos projectos correntes. No primeiro caso, as empresas fabricantes assumem grande parte da responsabilidade relativamente ao cumprimento das exigências da construção e colocam no mercado, muitas vezes, produtos com a natureza de um *kit*. No segundo caso, os projectistas terão um papel mais importante já que o projecto segue os procedimentos correntes, devendo o Arquitecto a gerir o projecto de forma a garantir as boas práticas da construção em madeira<sup>96</sup>. Cruz (2013). refere que:

*“(...) são da maior importância a pormenorização, a execução e a montagem, aspectos que não encontram resposta nos Eurocódigos (...), cabendo essa tarefa e responsabilidade ao Arquitecto. Também os outros aspectos do desempenho da construção de casas de madeira, nomeadamente os ligados à segurança ao fogo, ao comportamento térmico e acústico, ao ambiente interior e à durabilidade implicam bons conhecimentos técnicos, sensibilidade e experiência por parte dos intervenientes, no que se refere ao dimensionamento, mas também aos materiais, aos processos de construção e à pormenorização, que são específicos e que assumem uma complexidade maior neste caso do que na construção tradicional corrente em alvenaria.” (Cruz, Casas de madeira - Panorama nacional, certificação, e homologação, 2013, p. 5).*

Em países com uma tradição de construção em madeira consolidada e onde o meio técnico tem conhecimento efectivo das exigências da construção em madeira, adopta-se por vezes regulamentação do tipo prescritiva. Na América do Norte<sup>97</sup> por exemplo, a construção de habitações unifamiliares beneficia de disposições regulamentares que estabelecem soluções pré-testadas ou normalizadas. É comum por exemplo a utilização de tabelas de vãos estruturais para determinar a secção de componentes em função das respectivas classes de resistência e espécies de madeira (Wing, 2009).

Para projectar uma casa de madeira, o Arquitecto não necessitará de ter conhecimentos profundos sobre cálculo estrutural, mas deverá ter consciência das principais condicionantes que afectam o uso da madeira nas estruturas. Este conhecimento é a base que lhe permitirá dialogar com os profissionais especialistas, Engenheiros, fabricantes e construtores. Antes de mais é necessário o conhecimento das características dos materiais utilizados nas estruturas. A madeira maciça, a madeira lamelada colada, os derivados estruturais e as diversas formas de ligação entre componentes têm propriedades e condicionantes específicas que devem ser consideradas na verificação das estruturas. Muitas destas definições têm implicações arquitectónicas (funcionais e estéticas), pelo que devem ser equacionadas de forma integrada. As condições ambientais (de equilíbrio termo-higrométrico) a que os componentes estão sujeitos permitem definir classes de serviço em função da temperatura e da humidade relativa do ar e da humidade de equilíbrio da madeira. As classes de serviço permitem efectuar (se necessário) uma correcção à resistência dos valores característicos da resistência e da rigidez dos componentes. Do ponto de vista das acções a considerar, o Arquitecto deve obter e comunicar ao Engenheiro as situações em que as estruturas vão estar sujeitas não só depois mas também durante a construção.

<sup>96</sup> A relação entre construção industrializada e empresas não é obrigatória, ou seja por vezes as empresas constroem casas de madeira não industrializadas e acontece também que os Arquitectos podem recorrer às empresas para tirar partido da construção industrializada.

<sup>97</sup> São os casos do International Building Code nos EUA e do National Building Code of Canada.

A classificação dos componentes de madeira é um dos aspectos fundamentais para que se possa utilizar esta matéria-prima em elementos estruturais. Em Portugal é comum referir-se que as normas de classificação são já antigas e que as serrações não têm capacidade para classificar os componentes que produzem. No entanto as normas existem e no caso da madeira serrada ou redonda de coníferas e folhosas a norma EN 1310 estabelece a metodologia de medição das singularidades: nós, bolsas de resina, madeira de reacção, desvio da fibra, a taxa de crescimento, casca inclusa, borne, descaio, as fendas, as deformações, a presença de medula e de madeira juvenil. A classificação visual da madeira, estabelecida com base na medição das singularidades, permitirá depois estimar a resistência e a rigidez de um determinado componente.

Os requisitos para a classificação no espaço europeu são definidos pela norma EN 14081, sendo as classes de resistência estabelecidas na norma EN 338: doze classes para as coníferas e Choupo (C14 a C50) e seis classes para as folhosas. A associação entre a classificação visual e o sistema de classes de resistência é efectuada através da norma EN 1912. Em Portugal a norma NP 4305:2005 permite classificar a madeira de Pinho-bravo para utilização em estruturas, atribuindo as classes E para estruturas e EE para estruturas de boa qualidade. Apenas a classe E tem uma correspondência com as classes do sistema de classificação, sendo esta equiparada à classe C18 (a classe EE corresponderia a uma classe entre C18 e C35, faltando o seu reconhecimento através de uma norma). Esta é também uma limitação ao uso do Pinho-bravo como material estrutural porque o *standard* Europeu para estruturas de madeira é em geral o C24<sup>98</sup>. Negrão e Faria (2009, p. 38) consideram que para além das normas nacionais e Europeias se podem utilizar em paralelo normas de outros países nos quais que exista um contexto técnico com experiência e fiabilidade comprovadas.

#### 1.2.5.4 DURABILIDADE

As estruturas de madeira terão um tempo de vida tanto maior quanto o seu projecto se adaptar às condições climáticas e biológicas do contexto. As condições de humidade e temperatura, conjugadas com a presença e ataque de fungos e insectos xilófagos são factores a ter em conta no projecto, devendo ainda considerar-se factores como a luz, a erosão, os ventos e em geral o grau de exposição a todos estes agentes.

Podem-se distinguir diversos níveis de medidas de durabilidade a ter em conta no projecto de casas de madeira: a escolha de espécies duráveis, a protecção da madeira em relação à humidade, e os tratamentos protectores biocidas. Do ponto de vista da Arquitectura, para além do conhecimento das normas que oferecem uma boa base metodológica para garantir a durabilidade das construções, devem ser colocados em prática medidas de protecção através do projecto. No caso limite de ser necessário optar por tratamentos protectores, deve recorrer-se ao apoio de especialistas uma vez que se tem assistido a uma grande evolução no tipo de tratamentos químicos disponibilizados, em parte devido à necessidade de reduzir o seu impacto ambiental.

A escolha de uma espécie durável tem em conta a sua durabilidade natural que consiste na resistência ao ataque por agentes biológicos sem recorrer a tratamentos preservadores. A norma EN 350-1 estabelece classes de durabilidade segundo o agente de degradação. Quando a durabilidade natural da madeira não é considerada eficaz para garantir o comportamento pretendido, deve-se ter em conta a sua impregnabilidade, ou seja a capacidade que uma determinada espécie tem para absorver os produtos preservadores.

---

<sup>98</sup> Cf. Entrevistas ao Eng. Luís Jorge da empresa TISEM no capítulo 5.2 - A experiência das empresas.

Provavelmente a ferramenta mais importante que o Arquitecto tem no decorrer do projecto para a avaliação da durabilidade das estruturas e dos componentes de madeira em geral é o sistema de classificação em classes de risco. A norma "NP EN 355-1:1994. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 1: Generalidades" estabelece cinco classes de risco classificadas de 1 (quando em interiores secos) até 5 (quando regularmente submersa em água salgada). Na versão de 2013 da norma, estabelece-se uma relação entre as classes de risco e as classes de serviço.

A norma NP EN 460-1995 estabelece a relação entre a classe de risco de um componente e a classe de durabilidade natural de uma dada espécie de madeira, permitindo avaliar a necessidade ou não de tratamento preservador. Na América do Norte, os regulamentos, seguindo uma cultura mais pragmática e descritiva, identificam situações de obra específicas e típicas em que se devem tratar os componentes. Apesar das diferenças de contexto, a observação das boas práticas adquiridas na América do Norte e nos países do Norte e Centro da Europa podem oferecer orientações úteis para o projecto de Arquitectura com estruturas de madeira em Portugal.

Os tratamentos a que se pode sujeitar a madeira para aumentar a sua durabilidade incluem não apenas os tratamentos químicos contra ataques biológicos de fungos e insectos (seja por impregnação ou por pintura)<sup>99</sup>. Em alguns casos, especialmente em elementos não estruturais podem justificar-se métodos alternativos como a modificação química, o tratamento térmico ou os tratamentos com repelentes de humidade.

Para além da escolha das espécies adequadas, as medidas construtivas constituem um dos mais importantes meios de garantir a durabilidade de uma construção, podendo evitar que se tenha que efectuar tratamentos químicos da madeira. Assim podem considerar-se dois tipos principais de medidas de protecção arquitectónica: as medidas de protecção gerais e as medidas de protecção específica ou de detalhe. As primeiras podem ser definidas ao nível do projecto global, consistindo por exemplo em proteger as estruturas e paredes através da projecção da cobertura, através da elevação dos elementos de madeira em relação ao solo ou através de tratamento do terreno envolvente (drenagem, inclinação, materiais). As segundas consistem em proteger componentes específicos através da sua forma, de capeamentos, rufos e peças sacrificiais e quaisquer detalhes que promovam a protecção da humidade, a ventilação e a drenagem da água. Neste último tipo de medidas pode ainda contemplar-se a definição de perfis e formas de componentes consideradas mais eficientes do ponto de vista da durabilidade (para tal, a observação das estruturas históricas pode fornecer importantes lições).

#### 1.2.5.5 SEGURANÇA CONTRA RISCOS DE INCÊNDIO

O Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE), não estabelece exigências aplicáveis aos elementos estruturais de habitações unifamiliares. Uma habitação unifamiliar enquadra-se na Utilização Tipo I e desde que não tenha mais do que um piso abaixo do piso de referência (solução nada comum), nem mais de 9 metros de altura, pertence à classe de risco mais baixa. Do ponto de vista do regulamento deve-se ter em atenção que as coberturas inclinadas devem ter um revestimento que seja no mínimo de uma classe de reacção ao fogo C-s2 d0, devendo as coberturas planas ter uma classe mínima E<sub>FL</sub> (Portugal, 2008d).

<sup>99</sup> A norma EN 351-1 prevê três tipos de protecção: superficial, média e profunda, consoante a espessura e volume de madeira impregnada e o tipo de produtos utilizados.

Embora seja uma situação pouco frequente, no caso de uma habitação unifamiliar (com menos de 9m de altura) apresentar uma fachada que confronte com outra fachada de outro edifício (situado a menos de 4m), as paredes exteriores devem garantir uma classe de resistência ao fogo padrão EI 60 ou REI 60, devendo os vãos ter guarnições fixas com uma classe E 30 (n.º8 do Artigo 7.º do RT-SCIE).

Nas habitações com mais de um piso, devem ser previstas fachadas com revestimentos com classes de reacção ao fogo D-s3 d1 para fachadas sem aberturas. Para fachadas com aberturas, as classes deverão ser C-s2 d0 para revestimentos e elementos transparentes e D-s3 d0 para caixilharias e estores ou persianas (n.º9 do Artigo 7.º do RT-SCIE).

O sistema de classificação de reacção ao fogo dos produtos de construção (ou Euroclasses de reacção ao fogo) está harmonizado a nível europeu. Os produtos pouco ou muito pouco combustíveis integram-se nas classes A1 e A2 e no extremo oposto surgem os produtos combustíveis como os das classes E e F. Nas classes intermédias estão situados os produtos combustíveis cuja contribuição para a propagação generalizada seja muito limitada, como é o caso das classes B, C ou D. Por exemplo, os elementos estruturais de madeira maciça (vigas, caibros, pilares e barrotes) do kit Rusticasa avaliado pelo LNEC (LNEC, 2012) apresentam uma classe de reacção D-s2<sup>100</sup>, d0.

O sistema de classificação da resistência ao fogo padrão dos produtos de construção está também harmonizado a nível europeu. Os parâmetros mais importantes são a capacidade de suporte de cargas “R”, a estanquidade a chamas e gases quentes “E” e o isolamento térmico “I”, surgindo combinados (R, RE, REI). A resistência ao fogo de um elemento é classificada com base na duração em minutos entre o início do processo térmico a que é submetido e o momento em que esse elemento deixa de responder às exigências esperadas. As estruturas de madeira podem obter elevadas resistências ao fogo como a REI 60 e a REI 90 e em alguns casos resistências superiores (Östman, 2013).

Sempre que seja considerada a necessidade de conferir resistência ao fogo em componentes e elementos de construção de casas de madeira, esta exigência deve ser conjugada com o cálculo estrutural porque as dimensões, o peso e o tipo de ligações serão necessariamente afectados. Existem dois métodos principais de conferir uma maior resistência ao fogo: o protectivo e o sacrificial. No primeiro caso cobrem-se os componentes de madeira com outros materiais com capacidade isolante. Uma placa de gesso de 12,5mm (dependendo da densidade) poderá, por exemplo, permitir conferir uma resistência ao fogo de 30 minutos em elementos de madeira e derivados de coberturas, paredes e pavimentos. No método sacrificial, utilizam-se os rácios de combustão (definidos no EC5-1-2) para calcular a espessura de madeira sacrificial a adicionar a uma dada secção. Assim por exemplo, um pilar de madeira maciça resinosa exposto a 30 minutos de fogo necessitaria de 2x30minx0,8mm/min=48mm de madeira sacrificial (TRADA; IStructE, 2007). Adicionalmente pode-se contemplar uma terceira medida que consiste na protecção da madeira com tratamento com produtos ignífugos.

#### 1.2.5.6 AMBIENTE (RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E SISTEMAS DE AVALIAÇÃO)

Em Portugal, ainda que não existam medidas regulamentares específicas de incentivo à construção em madeira com base no argumento ambiental, podem ser apontados no entanto aspectos legislativos que contribuem para a valorização da madeira enquanto material de construção. No Código dos Contratos Públicos - Decreto-Lei n.º 18/2008 de 29 de Janeiro

<sup>100</sup> As letras s e d referem-se à produção de fumo e de gotículas respectivamente.

prevê-se a inclusão de práticas e critérios ambientais nos cadernos de encargos e a reutilização e reciclagem de resíduos urbanos como a madeira. Também no Regime das operações de gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) se contemplam medidas que podem afectar positivamente a construção em madeira, nomeadamente no referente à definição das opções de prevenção de resíduos. No anexo V contempla-se o recurso a medidas que promovam a construção ecológica e a integração de critérios ambientais e de prevenção nos concursos e contratos públicos.

A melhoria do desempenho ambiental dos edifícios tem nos sistemas voluntários de avaliação e certificação da sustentabilidade uma base muito relevante. A utilização da madeira nestes sistemas é valorizada através da sua inclusão em categorias referentes aos materiais de construção (mencionando-se a madeira em muitos dos sistemas), à técnica de construção, à minimização dos resíduos, aos impactos no ciclo de vida e à qualidade do ar interior. Em geral haverá pelo menos uma “ligeira vantagem” dos projectos que integrem elementos em madeira em vez de outros materiais (Light House, 2009).

Podem referir-se alguns desses sistemas de certificação como o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), o LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), o iiSBE e SBToolPT (International Initiative for a Sustainable Built Environment), o LiderA e a norma Passivhaus. No sistema BREEAM promove-se, nos documentos de apoio, a utilização da madeira reconhecendo-se o seu bom desempenho ambiental, nomeadamente pelo papel que desempenha no sequestro do Carbono. No sistema LEED, na categoria Materiais e Recursos, são conferidos créditos ao uso de elementos pré-cortados e a componentes específicos de madeira como as vigas treliçadas de madeira e os painéis SIP. Para contabilização de créditos adicionais inclui-se a madeira certificada nas estruturas de paredes exteriores e nos revestimentos. No sistema iiSBE e SBToolPT, na categoria “C4 Materiais e resíduos sólidos” valoriza-se o uso de materiais orgânicos certificados, numa menção indirecta à madeira. Com base no “Manual para projectos de licenciamento com sustentabilidade segundo o sistema LiderA - Síntese executiva” deduz-se que a importância e valorização da escolha da madeira como material de construção decorrerá da consequente redução das cargas que decorrem das emissões atmosféricas e dos resíduos sólidos entre outros factores como a redução dos custos no ciclo de vida, a utilização de materiais renováveis e recicláveis e de baixo impacto.

Todas as vantagens que são associadas à construção em madeira só poderão ser efectivamente consideradas se a certificação da proveniência da matéria-prima garantir que as práticas de gestão florestal são sustentáveis. Para além da regulamentação geral (Regulamento da União Europeia (EUTR) (UE) n.º 995/2010 do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Outubro de 2010) (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2010) que prevê medidas para evitar o comércio ilegal de madeira, a madeira deverá ser sempre certificada. O Forest Stewardship Council (FSC) emite certificados para organizações e agentes de gestão florestal e de transformação, processamento e comercialização. A marca FSC é emitida por empresas certificadas com o Certificado da Cadeia de Responsabilidade permitindo a identificação de um produto florestal como sendo proveniente de florestas com gestão responsável. O “Programme for the Endorsement of Forest Certification” (PEFC) é uma alternativa ao FSC, mais vocacionado para proprietários de menor dimensão. Um produto certificado com a marca PEFC demonstra que os agentes envolvidos no ciclo de abastecimento são certificados, o que exige o cumprimento de um conjunto de boas práticas florestais.



#### 1.2.5.7 ESTÉTICA

Do ponto de vista regulamentar e normativo, a componente estética das construções de madeira pode ser considerada ao nível da construção como um todo e ao nível do material em si mesmo. Algumas disposições regulamentares poderão limitar o projectista a recorrer a formas e sistemas que se enquadrem nas vizinhanças, obedecendo a critérios de integração. Uma casa de madeira em Portugal poderá eventualmente ser considerada, pelas entidades licenciadoras, como uma obra de Arquitectura que não se enquadra nos padrões habituais estéticos correntes. Para além de disposições deste tipo, definidas normalmente em regulamentos municipais ou estabelecidas para zonas sensíveis ou protegidas, o RGEU por exemplo, estabelece no art.º 121.º as “condições especiais relativas à estética das edificações” de uma forma tal que abre um campo de subjectividade que pode vir a afectar alguns dos sistemas de construção em madeira em determinados contextos.

Ao nível da estética do material, quando se pretende obter dos elementos estruturais uma função expressiva, deverá ser importante ter em conta a norma de classificação visual NP EN 1611-1:210. A classificação é efectuada em função da presença de defeitos nas superfícies dos componentes de madeira serrada. Os defeitos considerados são os nós, a casca inclusa, as bolsas de resina, a madeira de compressão, a inclinação das fibras, e as alterações biológicas, para além de outras. A madeira assim avaliada obtém uma categoria de qualidade de 0 até 4.

#### 1.2.5.8 PROCESSO (PRODUTOS, PRÉ-FABRICAÇÃO, TRANSPORTE)

Os produtos de construção em Portugal, segundo o n.º 3 do artigo 17.º do RGEU estão condicionados “à marcação CE ou na sua ausência à certificação da sua conformidade com as normas técnicas em vigor em Portugal”. Quando um produto não obedece às condições anteriores este fica condicionado à homologação pelo LNEC (podendo este dispensar a homologação se o produto tiver certificados de conformidade emitidos por um Estado membro).

Como refere Cruz (2013), aos produtos mais complexos ou aos sistemas considerados inovadores, incluindo os kits de casas pré-fabricadas aplicam-se as Avaliações técnicas Europeias (ETA). O Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, define que o fabricante deve elaborar uma declaração de desempenho em relação a características essenciais definidas em normas harmonizadas, colocando posteriormente a marcação CE no produto. No caso de produtos não abrangidos por normas harmonizadas deve-se solicitar uma Avaliação Técnica Europeia (ETA) a um Organismo de Avaliação Técnica<sup>101</sup> (OAT), que elabora um “Documento de Avaliação Europeu”. A ETA é então elaborada com base nesse “Documento de Avaliação Europeu” e é válida por cinco anos em qualquer Estado membro. A ETA permite apor a marcação CE ao produto a que esta se refere.

As directrizes para aprovação técnica europeia (ETAG) definidas no anterior regulamento podem agora ser utilizados como Documentos de Avaliação Europeus. As ETAGs relevantes para a construção em madeira são as “003 Kits para divisórias”, “007 Kits para edifícios pré-fabricados com estrutura reticulada de madeira”, “008 Kits para escadas pré-fabricadas”, “011 Vigas e pilares compósitos ligeiros à base de madeira”, “012 Kits para edifícios pré-fabricados

<sup>101</sup> No caso português o Organismo de Avaliação Técnica é o LNEC.

como toros de madeira”, “019 Painéis pré-fabricados resistentes com forros de derivados de madeira”.

Cruz (2013, pp. 8-9) refere que o LNEC pode emitir alternativamente um documento de homologação dirigido principalmente ao mercado Português com referência explícita à conformidade com a regulamentação nacional. Um caso exemplar de homologação de um sistema de casas de madeira é o “Documento de Homologação - Rusticasa sistema de construção industrializada DH 915” (LNEC, 2012), referente a um sistema de construção de casas em toros. Uma ETA e até de forma mais profunda um DH implica uma avaliação global que contempla *“ensaios de avaliação do desempenho mecânico funcional de fachadas fornece informação sobre a resistência de paredes exteriores a acções perpendiculares ao plano, a estanquidade à água e resistência a choques acidentais em paredes e a permeabilidade ao ar”*. Uma vantagem imediata que decorre desta avaliação consiste na identificação de pontos fracos, implicando a consequente correcção e a respectiva melhoria do desempenho.

O transporte de componentes para a obra é frequentemente um aspecto importante nos sistemas de construção em madeira uma vez que das suas condicionantes depende muitas vezes a dimensão dos componentes a transportar e do tipo e forma dos elementos que podem ser entregues em obra pré-montados ou pré-cortados. Em Portugal, o regulamento que estabelece as dimensões dos veículos e as condições da sua circulação é definido pelo Decreto-Lei n.º 133/2010 de 22 de Dezembro (Portugal, 2010b). A consideração do transporte é importante porque a planificação da obra contempla normalmente o tipo de acessos, o tipo de transporte (normal ou espacial), o número de viagens previstas para o fornecimento dos componentes e os respectivos custos.

### 1.2.6 CLIMA

O clima é um dos factores de contexto que mais podem afectar a construção em madeira. As diferenças regionais entre os sistemas de construção em madeira, como foi visto no capítulo 2.1, podem ser justificados em grande parte com base nas diferenças climáticas. Podem considerar-se as zonas climáticas globais segundo o sistema Köpen-Geiger (que é também utilizado pelo sistema de certificação BREEAM) quando se tem em consideração especificidade locais. As grandes zonas climáticas mundiais serão assim definidas como: A) Climas equatoriais; B) Climas áridos; C) Climas temperados quentes; D) Climas de neve; e E) Climas polares. Neste sistema, Portugal continental é classificado dentro de duas zonas: a norte a zona temperada de Verões secos e moderados (Csb) e a sul a zona temperada de Verões secos e quentes (Csa) (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf, & Rubel, 2006).

O clima pode ser apontado como uma das razões para que a tradição de construção em madeira em Portugal não seja tão importante como nos países das regiões equatoriais e tropicais e como nas zonas de bosques frios do norte e das regiões montanhosas. Segundo uma perspectiva de análise que relaciona o clima com a arquitectura como o faz Jean Dollfus (Olgyay, 2002, p. 6), no primeiro caso (zonas tropicais) podem encontrar-se, estruturas e construções de madeira associadas à importância da cobertura para a protecção da chuva e optimização da ventilação. No segundo caso (zonas frias) surgem as estruturas pesadas de madeira com coberturas de baixa inclinação tendo como estratégia prioritária a conservação do calor. A zona temperada seria segundo o mesmo Dollfus dividida em duas zonas, uma a norte e outra a sul. Na zona temperada norte, as soluções em alvenaria de pedra conviveriam com as de madeira, enquanto as zonas mais a sul, onde se insere Portugal, dominariam as alvenarias de tijolo ou pedra.

Mas o argumento do clima como determinante nos sistemas de construção pode ser discutida com base em exemplos específicos de locais onde as condicionantes do contexto são semelhantes às de Portugal e nem por isso são adversas à adopção de sistemas de construção em madeira. Paulo Almeida por exemplo refere que o sistema de reticulados leves (“light framing” na terminologia do autor), é amplamente utilizado na Califórnia, que tem um clima de características semelhantes ao de Portugal, podendo por isso ser um sistema construtivo aplicável ao contexto nacional:

*“No que respeita a actividade sísmica, variação térmica e índice de pluviosidade, as características climáticas e geológicas de Portugal assemelham-se às encontradas na Califórnia, onde o sistema light framing é o sistema construtivo de madeira mais utilizado” (Almeida, 2010, p. 4).*

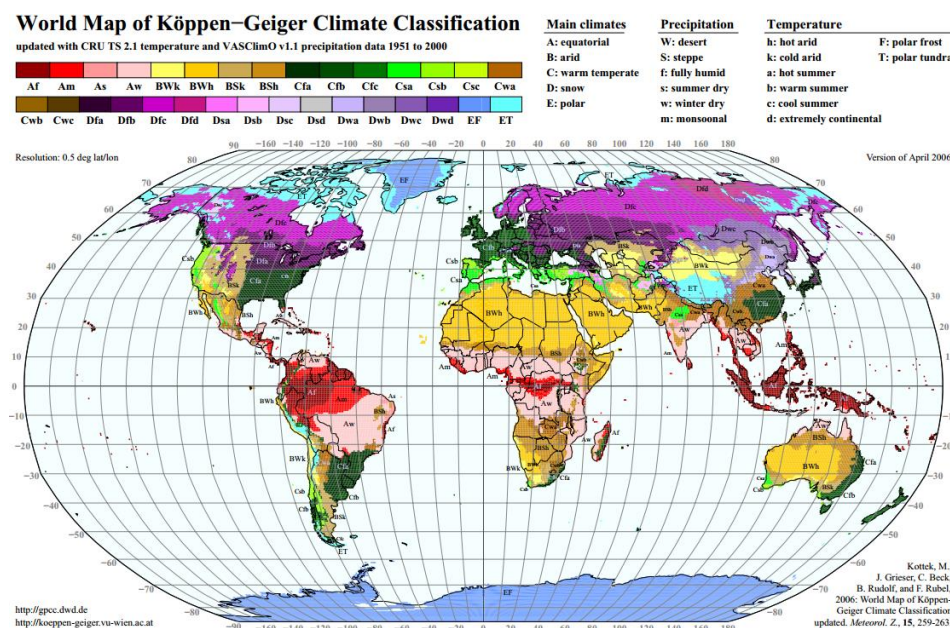


Fig. 164 - Mapa Mundial do clima Segundo a classificação Köppen-Geiger ([http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/kottel\\_et\\_al\\_2006\\_A4.pdf](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/kottel_et_al_2006_A4.pdf)).

#### 1.2.6.1 ZONAMENTO CLIMÁTICO

Os parâmetros para o zonamento climático e respectivos dados do território nacional são definidos no despacho n.º 15793-F/2013 (Portugal, 2013), tendo por base a divisão territorial expressa na “Nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos” (NUTS) de nível III. Neste âmbito foram definidas três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3), com o objectivo de aplicação dos requisitos para a qualidade térmica da envolvente.

Os critérios para a determinação das zonas climáticas de Inverno têm por base o número de graus dias (GD) na base de 18°C, correspondentes à estação de aquecimento. Os graus-dias de aquecimento na base de 18°C caracterizam a severidade do clima na estação de aquecimento, resultando do somatório das diferenças positivas registadas entre a temperatura base de 18°C e a temperatura média diária do ar exterior durante a estação de aquecimento (x meses de duração), expressos em valores horários da temperatura. Quanto maior o valor de graus dias na base de 18°C, maior será a severidade do clima.

A zona I1 tem um valor de  $GD \leq 1300$ , a zona I2 tem um valor de  $1300 < GD \leq 1800$  e a zona I3 tem um valor de  $GD > 1800$ <sup>102</sup> (Portugal, 2013). As zonas climáticas de Verão são definidas a

<sup>102</sup> Os parâmetros a considerar na estação de aquecimento são os seguintes (ver rodapé da página seguinte):

partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext, v}$ ). A zona V1 tem valores de  $\theta_{ext, v} \leq 20^\circ\text{C}$ , a zona V2 tem valores  $20^\circ\text{C} < \theta_{ext, v} \leq 22^\circ\text{C}$ , a zona V3 tem valores  $\theta_{ext, v} > 22^\circ\text{C}$ .

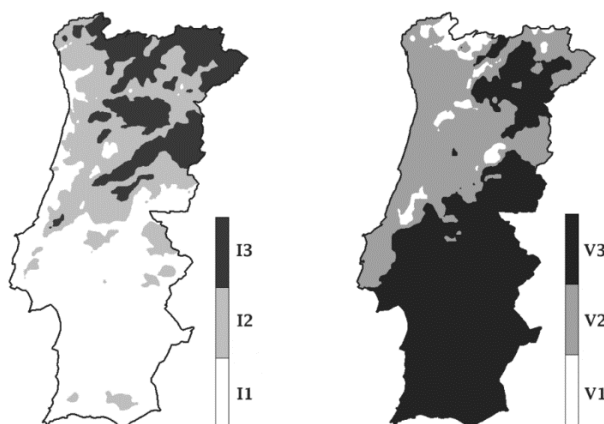


Fig. 01.01 - Zonas climáticas de inverno no continente

Fig. 01.02 - Zonas climáticas de verão no continente

Fig. 165 - Zonas climáticas de Portugal continental. Zonas climáticas de Inverno e zonas climáticas de Verão no continente (Despacho n.º 15793-F/2013 - Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013) (Portugal, 2013).

#### 1.2.6.2 ZONAS CLIMÁTICAS DEFINIDAS NO RCCTE E ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS:

O INETI publicou em 2004, os “Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal” (Gonçalves & Graça, 2004) que propunha estratégias bioclimáticas para a concepção dos edifícios em função dos zonamentos definidos no RCCTE. O Regulamento foi entretanto completamente revisto, mas as estratégias mantêm-se válidas. As estratégias bioclimáticas são no essencial comuns para todas as regiões do país, mas a sua aplicação prática depende da severidade de cada zona.

Relativamente às condições de Inverno, as estratégias gerais propostas consistem em promover os ganhos solares, restringir as perdas por condução e promover a inércia forte. As medidas a adoptar consistem essencialmente no isolamento da envolvente e no uso de paredes pesadas com isolamento pelo exterior, especialmente na zona I3 (Gonçalves & Graça, 2004).

Relativamente às condições de Verão, as estratégias gerais propostas consistem em restringir os ganhos solares, restringir os ganhos por condução e promover a ventilação, aconselhando-se para as zonas V2 e V3 a promoção de inércia forte. As medidas propostas consistem no sombreamento dos envidraçados, o isolamento da envolvente, a ventilação transversal (quando a temperatura exterior for favorável) e o uso de paredes pesadas com isolamento pelo exterior (Gonçalves & Graça, 2004).

Aceitando-se que há uma relação entre o clima de uma região e as características construtivas das soluções que nela surgem, poderia sugerir-se que há em Portugal regiões mais vocacionadas para a utilização da madeira, com base no pressuposto de que esta se

Duração da estação de aquecimento -  $M$ ; Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento -  $\theta_{ext,i}$  ( $^\circ\text{C}$ ); Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul -  $G_{sol}$  [ $\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{mês}$ ].

Os parâmetros a considerar na estação de arrefecimento são:

Duração da estação de arrefecimento -  $L_v = 4$  meses = 2928 horas; Temperatura exterior média -  $\theta_{ext,v}$  ( $^\circ\text{C}$ ); Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação  $0^\circ$ ) e em superfícies verticais (inclinação  $90^\circ$ ) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais -  $I_{sol}$  [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ].

Os valores dos parâmetros climáticos de um dado local são obtidos a partir dos valores de referência  $X_{ref}$  associados a cada NUTS III e ajustados com base na altitude do local.

adapta melhor aos climas frios e de Verões mais suaves. Assim, com base na severidade do Verão e assumindo a baixa inércia térmica dos sistemas de construção em madeira, poderiam considerar-se como mais adequadas as zonas a norte do país, excluindo algumas regiões do noroeste (cf. Zonas V3 da Figura 165). A observação das condições de Inverno permitiria confirmar essas mesmas regiões uma vez que nelas se poderia potenciar as boas características de isolamento térmico associadas à madeira. Com base na observação dos contextos onde surgem os poucos exemplos da Arquitectura popular em madeira poderiam ainda acrescentar-se as zonas costeiras e as bacias hidrográficas (com a justificação do efeito temperador das brisas provenientes das massas de água) e ainda algumas regiões montanhosas e florestadas. Este tipo de conclusões não pode no entanto ser considerado como tendo uma validade geral uma vez que os factores a considerar são sempre muito mais complexos, incluindo as características específicas de cada sistema construtivo e de cada solução que podem contrariar e superar os possíveis factores adversos do clima.

A promoção da inércia é uma constante das estratégias definidas como recomendáveis, tanto para o Verão como para o Inverno. Esta é uma característica que normalmente é associada aos materiais pesados, sendo a madeira um material com boas características de isolamento e de baixa inércia. Este facto no entanto não deverá impedir que se construa em madeira em Portugal de forma eficiente. A inércia térmica pode ser valorizada na construção em madeira através da escolha de sistemas pesados (de painéis CLT ou de toros por exemplo), podendo ainda escolher-se revestimentos ou elementos adicionais (lajes de pavimento, núcleos de lareiras, escadas, paredes pontuais). Adicionalmente devem ser tomadas medidas de mitigação dos ganhos solares no Verão através de protecção de vãos e das projecções de coberturas.

Os factores mais importantes do clima são para além da temperatura, a humidade, a precipitação e o vento. A chuva em conjugação com o vento constituem um factor causador de entrada de água na envolvente. Quanto à temperatura exterior e ao diferencial entre esta e a temperatura interior deve considerar-se a sua influencia na formação de condensações no interior das paredes exteriores e da cobertura. É importante ainda ter em conta a combinação da temperatura com a humidade e a insolação uma vez que estas determinam a velocidade e direcção da migração do vapor e por consequência o potencial de secagem. Finalmente a temperatura exterior na sua relação com os revestimentos ou elementos estruturais exteriores tem influência na propagação dos fungos, que se dá em condições óptimas de temperatura e humidade (CMHC, 2001). Em função destas condicionantes a definição da envolvente construída deve ser alvo de atenção especial nas definições de projecto, podendo adoptar-se soluções específicas (como por exemplo as fachadas ventiladas) que promovam a secagem e ventilação dos revestimentos e evitem a acumulação de humidade no interior das paredes exteriores.



Fig. 166 - Tree House T1A, Jular, Azambuja (Foto autor).



Fig. 167 - Casa para exportação. Jular, Azambuja (Foto autor).

### 1.2.7 CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO

O mercado da habitação unifamiliar em madeira em Portugal está relacionado com o sector mais amplo da fileira da madeira. Algumas empresas com oferta de serviços de carpintaria, especializaram-se na construção de casas de madeira, enquanto outras empresas foram criadas especificamente para actuar nesse sector, preenchendo um nicho de mercado no panorama nacional. Ao longo dos anos as empresas que se mantiveram no mercado conseguiram adquirir uma experiência de projecto, de fabrico, de construção e de comercialização, da qual se podem retirar conclusões e informações para integrar numa proposta de metodologia de projecto.

As informações que se seguem são em grande parte o resultado de um trabalho efectuado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) no âmbito da participação no Programa Doutoral em Arquitectura do Instituto Superior Técnico (IST), no ano lectivo de 2009/2010. O trabalho “Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal - Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização (Morgado & Pedro, 2011), a partir daqui designado como estudo “Casas de Madeira”, implicou a realização de um inquérito (com 25 respostas de um universo de 66 empresas) e um conjunto de visitas a empresas, tendo permitido caracterizar a oferta de casas de madeira a nível nacional.

Ao longo da evolução da tese os conceitos e as informações obtidas no inquérito foram sendo actualizadas. Estas foram também complementadas com base nos vários contactos directos estabelecidos com as empresas. Entre Abril e Maio de 2014 foi realizado um conjunto de entrevistas estruturadas com o enfoque nos aspectos metodológicos (cujos resultados se apresentam no capítulo 4.2.1) e finalmente realizou-se uma série de contactos finais, a um grupo seleccionado de empresas que teve lugar em Setembro de 2015, realizados com as empresas que apoiaram o desenvolvimento dos casos de estudo.

O estudo “Casas de Madeira” apresentou um conjunto de conclusões que se puderam resumir nos seguintes pontos principais:

- 1) O volume de construção de casas com estrutura de madeira é muito reduzido em relação às moradias construídas com outros materiais estruturais, nomeadamente com o betão armado.
- 2) Há um conjunto reduzido de empresas que lideram o mercado, pelo menos em termos de visibilidade e de historial, havendo um número maior de empresas de mais reduzida dimensão e com menos tempo de actividade.





Fig. 168 - Casa modelo porticada - Rusticasa (Foto autor).



Fig. 169 - Painéis reticulados - Rusticasa (Foto autor).

3) Parte das empresas que se dedicam à construção de casas de madeira controla o processo desde a concepção, passando pelo fabrico, até à construção. No entanto as empresas cuja oferta não incide especificamente nas casas de madeira, especializam-se numa fase do processo: o projecto ou a construção. Outro grupo de empresas dedica-se apenas à construção, recorrendo aos produtos fabricados por outras empresas.

4) Uma parte significativa dos produtos utilizados na construção de casas de madeira é importada. De entre esses produtos destaca-se a matéria-prima que é proveniente dos países nórdicos, da Europa de Leste, do Canadá e do Brasil. Algumas empresas oferecem produtos desenvolvidos por empresas de outros países das quais são representantes em Portugal. Esses produtos são ou *kits* completos de casas de madeira ou componentes de construção, como os painéis maciços de lamelados cruzados colados.

5) Os Arquitectos tradicionalmente estavam pouco envolvidos no processo de concepção e construção de casas de madeira, no entanto deu-se uma alteração nos últimos anos, com o interesse crescente do meio arquitectónico pela construção em madeira. Facto que é demonstrado pelo número crescente de exemplos de casas de madeira projectadas por Arquitectos e pela presença crescente destes em empresas de construção de casas de madeira.

6) Os consumidores, como é normal numa tecnologia sem tradição na habitação unifamiliar em Portugal, continuam a apresentar dúvidas em relação a vários aspectos da construção em madeira.

7) O nicho das casas de madeira ainda não parece ser valorizado por um sector (o da habitação unifamiliar) que é tão importante em Portugal. Por um lado, as grandes empresas que produzem produtos derivados de madeira não apostaram nas casas de madeira, por outro lado, a floresta nacional parece ter estado vocacionada para outros produtos que não os estruturais. Deve-se referir também que ao contrário de outros países, as empresas de casas de madeira não têm uma associação de industriais formada com o objectivo de promover a utilização da madeira na habitação.

8) As medidas e os programas públicos que incentivam especificamente a construção em madeira começam agora a surgir, mas de forma tímida e sem o impacto que existe noutros países como na França ou na Alemanha.

#### 1.2.7.1 AS EMPRESAS DO SECTOR EM PORTUGAL

Na análise preliminar efectuada ao mercado no estudo “Casas de Madeira” em 2011 detectaram-se e confirmaram-se 66 empresas que anunciavam especificamente o produto “casa de madeira”, embora em alguns casos não fosse este o produto principal da empresa. Essas empresas apresentavam-se em geral com vários códigos CAE (Classificação das





Fig. 170 - Casa modelo - Modular System (Foto autor).



Fig. 171 - Tree House Riga da empresa Jular em Santos, Lisboa (Foto autor).

actividades económicas), evidenciando a prestação de serviços variados. Da totalidade das empresas contactadas, obtiveram-se 25 respostas.

Verificou-se que grande parte das empresas (40%) tinham surgido nos últimos cinco anos (entre 2006 e 2010). Cerca de metade das empresas, teriam mais de dez anos de actividade (48%), e teriam passado a dedicar-se ao sector das casas de madeira num período posterior ao início da actividade (52%).

Quanto ao número de trabalhadores, o estudo evidenciou que a maioria das empresas tinham uma dimensão reduzida. Pouco mais de metade (64%, ou seja 16 empresas) eram “microempresas” (até 9 trabalhadores), sendo as restantes “pequenas empresas” (entre 10 e 49 trabalhadores), detectando-se apenas uma “empresa de média dimensão”. Concluiu-se que a maioria das microempresas era recente, tendo em média iniciado a actividade no sector das casas de madeira em 1997. Deve-se notar ainda que as empresas de reduzida dimensão recorriam com frequência a equipas de montagem externas, permitindo assim aligeirar a sua estrutura.

Os serviços correspondentes às casas de madeira representavam, para cerca de metade das empresas (52%, ou seja 13), mais de 50% do volume total de actividades. Apenas para 20% das empresas (ou seja cinco) as casas de madeira representavam 100% do seu volume, enquanto para 16% das empresas, as casas de madeira representavam menos de 5% do volume de negócios.

O tipo de actividades das empresas variava muito entre as que fabricavam casas de madeira completas (72%), as que construíam (56%) e as que projectavam (52%). A maior parte das empresas (60%) acumulavam mais do que uma actividade. Das empresas que se dedicavam a apenas uma actividade, a maior parte (60%) eram as que fabricam casas de madeira.

Quanto aos produtos utilizados, destacou-se a utilização de elementos e marcas de outras empresas internacionais por parte de 40% das empresas. Mas a maioria das empresas (76%) utilizava produtos e marcas desenvolvidas nas próprias empresas e desse conjunto de empresas, 63% não recorria a produtos de empresas estrangeiras.

As empresas apresentavam maioritariamente (60%) os serviços de projecto em mais que uma modalidade, combinando normalmente (48%) a oferta por catálogo com a oferta personalizada. O projecto personalizado das casas de madeira era um serviço oferecido por 84% das empresas e a oferta de casas de madeira a partir de catálogo era um produto oferecido por 56% das empresas.

Verificava-se que a maioria das empresas se situava na zona norte e centro do país, com apenas uma localizada no Sul do país. Utilizando as Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos (NUTS II), surgiam oito empresas no Norte, cinco no Centro, cinco em



Fig. 172 - Sede da empresa Casema (Foto autor).



Fig. 173 - Pormenor de encontro de um pilar com uma viga (Foto autor).

Lisboa, três no Alentejo e uma no Algarve. Esta tendência seguia o panorama evidenciado no estudo elaborado pela Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal (AIMMP), que revelava que mais de 90% das indústrias de serralção, as indústrias de painéis e mobiliário (e 75% das indústrias de carpintaria) se localizavam no Norte e Centro de Portugal (AIMMP, 2009).

O panorama do sector mostrava em geral que a maioria das empresas são microempresas e empresas de pequena dimensão localizadas principalmente no Norte e Centro de Portugal. As empresas de pequena dimensão tendiam a ser mais antigas enquanto as microempresas tinham sido criadas mais recentemente. A flexibilidade das empresas era um traço comum a todas elas, manifestando-se pelas valências variadas (comercialização, fabrico, contração), e pela produção interna de componentes, conjugada com a compra a outras empresas. Para além desses aspectos disponibilizavam as casas de madeira em diversas modalidades (projecto tipo ou projecto personalizado).

#### 1.2.7.2 OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

No estudo “Casas de madeira” não se tinham ainda estabilizado os conceitos relativos aos sistemas construtivos, admitindo-se que pudesse ter havido algumas dificuldades de interpretação, não sendo por isso os resultados muito fiáveis. O sistema com mais repostas (56%) foi designado como “misto de painéis e pilares”. Estas respostas no entanto englobavam tanto os sistemas porticados (com 32%) como os sistemas de pranchas e montantes (com 24%), como foi concluído depois de uma análise pormenorizada das respostas. O sistema de painéis maciços que recolheu 40% das respostas deve ter sido interpretado pelas empresas de forma diferente da pretendida uma vez que os sistemas de painéis pesados (lamelados cruzados colados) a que a designação se referia eram utilizados (e ainda o são) por muito poucas empresas. Assim, o sistema predominante seria o de reticulados leves, em painéis ou em componentes individuais, com 48% de respostas. Relevante terá sido verificar-se que metade (50%) das empresas utilizariam apenas um sistema construtivo. As dificuldades de interpretação surgidas evidenciaram a necessidade de proceder a um estudo profundo sobre o levantamento e nomenclatura dos sistemas estruturais existentes.

Sobre as qualidades associadas a cada sistema foram destacados pelas empresas o bom comportamento estrutural (20%), a simplicidade de construção (20%) e a estética apelativa (16%) do sistema de toros. Quanto ao sistema de reticulados leves (painéis ou não) destacou-se o reduzido consumo de madeira (28%) e os custos reduzidos (20%). No sistema porticado destacou-se o bom comportamento estrutural (44%) de uma forma mais clara que nos restantes, tendo o sistema de “painéis de madeira maciça” sido também destacado (32%).



Fig. 174 - Construção de uma casa com blocos de madeira pela empresa Empatias (Foto autor).



Fig. 175 - Casa em toros de madeira pela empresa Empatias (Foto autor).

Os sistemas construtivos desenvolvidos por parceiros internacionais surgiam em 44% das empresas contra 56% onde os sistemas eram desenvolvidos no interior da própria empresa. Apenas 12% adoptavam simultaneamente as duas possibilidades.

Quanto às espécies de madeira utilizadas na estrutura das casas de madeira as empresas recorriam maioritariamente a espécies resinosas europeias. Apenas quatro das empresas utilizava madeiras de espécies tropicais, associadas em três dos casos ao sistema de pranchas e montantes. Para os pavimentos térreos, 28% das empresas recorriam a betonilhas, betão ou aço em substituição da madeira. Para os revestimentos exteriores e interiores, também dominavam as resinosas europeias (60% no exterior e 44% no interior). Mas eram também utilizados outros materiais em substituição da madeira como os painéis fenólicos, as placas de gesso cartonado, os painéis de gesso com fibras de madeira, o reboco e a pedra natural.

As madeiras de origem nacional eram utilizadas por 36% das empresas nas estruturas e por 40% nos revestimentos. As empresas que não utilizavam madeiras de origem nacional indicaram razões como a ausência de processos de classificação e selecção de produtos (50%) e a falta de qualidade das espécies (38%).

Relativamente ao tratamento da madeira com produtos preservadores, apenas três empresas responderam que não utilizavam qualquer produto. Duas dessas empresas recorrem a madeiras tropicais. Algumas empresas responderam que não poderiam dar uma resposta genérica uma vez que o tipo de produto preservador seria avaliado em função da espécie de madeira e da classe de risco determinada pela empresa e pelo projectista, dependendo por isso de factores como a exposição ou protecção do elementos e o próprio local da obra.

A maioria das empresas (44%) recomendavam uma periodicidade de acções de manutenção em ciclos inferiores a três anos. No conjunto, 92% das empresas recomendavam acções de manutenção em ciclos iguais ou inferiores a cinco anos. Só duas empresas referiram acções de manutenção em ciclos superiores a oito anos coincidindo esses casos com situações de utilização de revestimentos de materiais substitutos da madeira. Assim, as acções de manutenção das casas de madeira acabam por ser sempre inferiores à referência constante no Artigo 89.º do Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE) que estabelece o ciclo obrigatório máximo de 8 anos para obras de conservação das edificações.

Quanto à vida útil de uma casa de madeira, mais de metade das empresas (60%) afirmaram que a vida útil das casas de madeira é superior a 100 anos desde que seja efectuada uma manutenção adequada. Outras empresas (34%) apontaram para uma vida útil compreendida entre os 40 e os 60 anos.

#### 1.2.7.3 LICENCIAMENTO E CERTIFICAÇÃO DAS CASAS DE MADEIRA

O licenciamento de uma casa de madeira na opinião de 40% das empresas seria idêntico ao de uma construção corrente, por corresponder a uma tecnologia que já não deveria ser considerado inovadora. Ainda assim, 40% das empresas consideraram que as Câmaras Municipais apresentavam posturas variadas, desde aquelas que as valorizavam para contextos onde se pretendia um reduzido impacto ambiental, até as que não as aceitavam por contrariarem aspectos culturais do contexto. No entendimento de algumas empresas, uma casa de madeira é uma construção que deve ser sujeita às mesmas regras de licenciamento que uma casa de betão armado. No estudo “casas de madeira” os autores admitiam que devido à experiência acumulada na construção em madeira e à publicação de normas europeias cobrindo vários produtos de madeira (e com a publicação dos Anexos Nacionais dos Eurocódigos Estruturais), a homologação do LNEC poderia vir a ser dispensada no futuro.

Outra discussão comum entre os clientes de casas de madeira e mencionada por várias empresas, era a eventual dispensa de licenciamento pelo facto de serem consideradas estruturas efémeras. A confusão poderia estar relacionada com a não definição no RJUE do conceito de “carácter de permanência” que está inserido na definição de “edificação”, levando algumas pessoas a associar as casas de madeira a construções não permanentes e por esse motivo pensariam que não estivessem abrangidas pelo conceito de “edifício”. Parece no entanto claro que as obras de “construção” e a “utilização de edifícios” estão sujeitas a licença ou autorização administrativa (n.º 2 do artigo 4.º e alíneas c) e f) do n.º 3 do artigo 4.º do RJUE. Apenas se prevê a dispensa de licença ou autorização nas obras que tenham “escassa relevância urbanística”, mediante previsão no Regulamento Municipal da Urbanização e Edificação. Uma casa de madeira é sujeita a uma obra de construção e a um uso residencial pelo que não deverá nunca ser considerada como podendo pertencer a essa categoria (“escassa relevância urbanística”). Apenas seria razoável considerar como tendo escassa relevância urbanística as obras onde estivesse programada a sua desmontagem passado um curto período de tempo, ou aquelas que são do tipo autocaravanas ou roulottes.

Em mais de metade das respostas (64%) foi considerada importante a certificação das empresas pelas vantagens que daí advêm em termos de eficácia e funcionamento. Apenas algumas empresas (16%) mostraram dúvidas relativamente à sua importância, tendo as restantes (16%) manifestado uma opinião negativa. Mas o processo de certificação era visto como dispendioso (74%) e complexo (58%), dando-se maior relevância a estes factores negativos do que aos positivos (simplicidade, custos acessíveis e o valor de afirmação no mercado).

A maioria das empresas (80%) considerou que a certificação dos produtos e sistemas de construção de casas de madeira seria importante, pelas mais-valias que o processo implica para a qualidade e para o reconhecimento do mercado. A necessidade de certificação para permanecer no mercado era um dos factores positivos mais destacados (35%). Mais uma vez as empresas apesar do reconhecimento da importância da certificação, mencionaram a complexidade do processo (65%) e os seus elevados custos (60%). Os factores negativos (complexidade, custo, eficácia) apontados superaram os factores positivos (simplicidade, custos acessíveis e necessidade para permanecer no mercado). Uma opinião registada sobre a certificação sublinhava a falta de informação dos consumidores relativamente à certificação, factor esse que impediria que este processo pudesse ser considerado uma mais-valia efectiva em termos de mercado.

#### 1.2.7.4 O MERCADO DAS CASAS DE MADEIRA

A internet era a forma mais utilizada para a promoção das casas de madeira no mercado, sendo um recurso utilizado por todas as empresas à excepção de uma. Outras formas de promoção consistiam na utilização de casas modelo (68%), anúncios em revistas (44%) e participação em feiras.

A maioria das empresas (72%) promovia uma oferta simultânea de casas de características contemporâneas e tradicionais e apenas 20% das empresas disponibilizam somente casas contemporâneas. Cerca de metade (48%) das empresas consideraram que as casas com características tradicionais importadas de outras regiões se adaptariam ao contexto nacional, embora acrescentassem que deveriam ser normalmente necessárias adaptações. A restante metade (44%) tinha a opinião contrária, embora algumas admitissem que com algumas alterações se podia conseguir uma melhor adequação. As adaptações referidas incidiam sobre áreas de instalações sanitárias e quartos, medidas de adequações ao clima e resposta às normas e regulamentos em vigor, bem com à utilização de materiais locais.

Com base na experiência das empresas, o cliente das casas de madeira foi referido como sendo maioritariamente o futuro utente (88%). Metade das empresas mencionaram que as casas de madeira se destinavam a residência principal e 32% referiam a segunda residência. As empresas com maior número de unidades construídas (4.112 unidades no conjunto) mencionaram a residência principal, ao contrário das restantes empresas (responsáveis por 636 unidades) que apontaram para a segunda habitação.

Quanto à estrutura etária do comprador-tipo, mais de metade das empresas (56%) indicaram o intervalo dos 40 aos 54 anos. Em segundo lugar surgem os compradores com menos de 39 anos (24%) seguidos do intervalo entre os 55 e os 65 anos (12%). Apesar de mais de metade das empresas (52%) não identificar o padrão de família que compra as casas de madeira, para 44% das empresas, a família tipo era o casal com um a três filhos. Também não era identificado por 60% das empresas um padrão de escolaridade do comprador, mas 36% indicaram que este teria formação universitária.

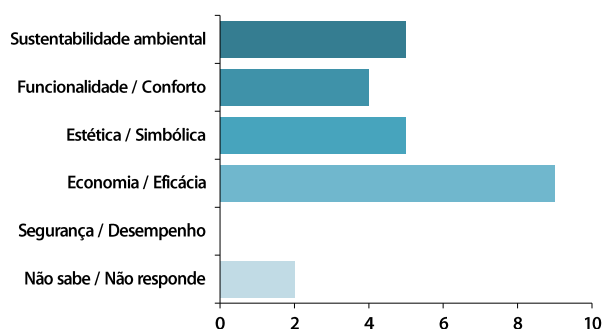


Fig. 176 - Número de respostas das empresas por factor que incentiva o comprador a optar por uma casa de madeira (Morgado & Pedro, 2011).

Os principais factores que influenciavam a decisão de comprar ou construir uma casa de madeira (cf. Figura 176) dispersam-se pela economia e eficácia (36%), estética (20%), ecologia (20%) e funcionalidade e conforto (16%). Os factores que suscitavam as maiores dúvidas nos clientes eram a segurança e o “desempenho” (56%), seguidos pela economia e eficácia (28%). Foi curioso notar que a economia e eficácia ao mesmo tempo que suscitavam as maiores dúvidas aos clientes, eram o segundo factor de escolha dos clientes. Não foram identificadas dúvidas relativamente às questões estéticas e simbólicas, concluindo-se que a opinião dos clientes seria em princípio favorável a estes factores.



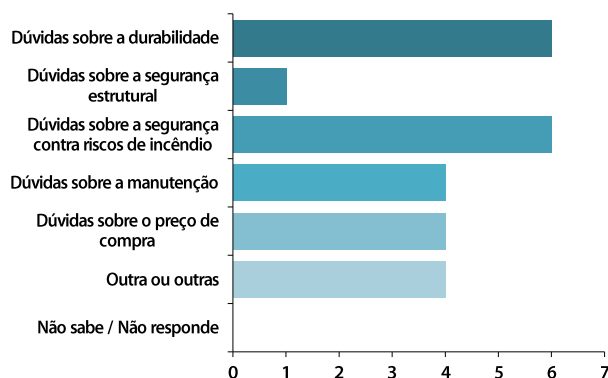


Fig. 177 - Número de respostas das empresas por principais dúvidas ou preconceitos dos clientes em relação à construção em madeira (Morgado & Pedro, 2011).

A descrição com maior pormenor das dúvidas suscitadas aos clientes pelas casas de madeira (cf. Figura 177) permitiu observar que se apontou maioritariamente a durabilidade como o factor mais importante (24%), seguido da combustibilidade (24%). Para além das dúvidas sobre o preço e exigências de manutenção, (16%), algumas empresas (16%) indicaram que as dúvidas dos clientes formam um conjunto de interrogações sem uma hierarquia estabelecida de factores. Foi também mencionado que aqueles clientes que procuram nas casas de madeira uma solução económica ficavam surpreendidas quando confrontadas com custos semelhantes ou superiores aos da construção tradicional.

Cada um dos argumentos utilizados para construir casas de madeira foi subdividido em factores mais específicos. No factor ecologia, o carácter renovável da madeira foi o argumento mais referido (32%), seguindo-se o potencial de reciclagem e reutilização (24%), o incentivo para a implementação de florestas sustentáveis (20%) e ainda o armazenamento de CO<sub>2</sub> (16%). A redução de resíduos de construção foi apontado apenas por 16%. No factor funcionalidade/conforto, o bom comportamento higratérmico foi o argumento mais referido (60%), sendo os restantes apontados de forma dispersa: baixa inércia térmica (que só pode ser considerado um bom argumento do ponto de vista da resposta rápida à acção de sistemas de aquecimento/ arrefecimento), boa qualidade do ar interior e bom conforto acústico. Na componente estética destacam-se a singularidade de uma casa de madeira (40%) e a integração na paisagem (28%). Na componente de economia e eficácia, são sublinhados os argumentos do processo (pré-fabricação e construção seca) (28%) e a rapidez (24%) seguidos do reduzido consumo de energia no fabrico de produtos de madeira (16%) e os custos de operação inferiores aos da construção corrente (16%). Apenas duas empresas referiram que uma casa de madeira teria custos inferiores aos de uma casa de construção corrente. Na segurança, foi destacado o bom comportamento sísmico (32%), a resistência (28%) e a durabilidade natural (24%).

Quanto ao número de casas de madeira produzidas em Portugal, destacaram-se três empresas com 69% das unidades totais construídas pelo conjunto de entrevistados (cf. Figura 178). Estas empresas iniciaram a sua actividade antes de 1992 (embora uma delas só tenha entrado no mercado das casas de madeira depois de 1999), dedicando-se duas delas em exclusivo ao sector das casas de madeira (a terceira tem no sector 75% do volume de negócios). Uma só empresa tinha construído 900 casas, duas empresas construíram 800, outras duas construíram entre 101 e 500 casas, e outras quatro construíram entre 51 e 100 casas. Quase metade das empresas (44%) tinha construído até 50 casas. As empresas mais recentes foram as que construíram menos casas, tendo iniciado a actividade, entre 2002 e 2010 (apenas com uma excepção).

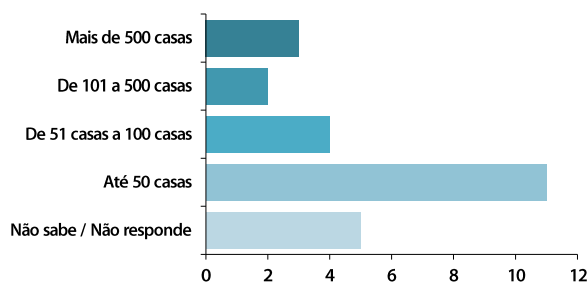


Fig. 178 - Número de respostas das empresas por número de casas de madeira construídas em Portugal desde o início da actividade da empresa (Morgado & Pedro, 2011).

Cerca de metade das empresas (48%) indicaram que exportavam casas de madeira desde o início da actividade. Destacou-se uma empresa que exportou 700 casas (59% das casas exportadas), tendo duas exportado 200 casas cada. Nove empresas (36%) terão exportado menos de 50 casas cada. As três empresas que se destacaram na exportação de casas de madeira eram também as que mais casas produziam para o território nacional.

As casas de madeira construídas em Portugal pelas empresas que responderam ao questionário totalizaram 3.640 unidades, tendo-se produzido para exportação 1.195 unidades (25% da produção). Em média o total de produção das empresas que deram informações sobre o número de unidades produzidas (ou seja 20 empresas) foi de 383 casas por ano. Doze empresas apresentam médias de duas a seis casas de madeira por ano, cinco empresas contaram com médias de 19 a 34 casas por ano e as já referidas três empresas de maior dimensão apresentaram médias entre 58 e 83 casas de madeira por ano. Considerando a média, produziram-se 27 casas de madeira por empresa, por ano.

Segundo os Censos de 2011, o parque habitacional nacional era composto por 2.747.840 edifícios de habitação unifamiliar (edifícios com um alojamento), o que comparando com os resultados do inquérito do estudo “Casas de Madeira” em que se apuraram cerca de 3.600 casa de madeira construídas em Portuga permite concluir que as casas de madeira construídas pelas empresas respondentes (20 empresas) representam menos de 0,13% do parque de habitação unifamiliar.

A maior parte das empresas consideraram que o preço de uma casa de madeira é igual (36%) ou superior (24%) às casas de construção corrente, enquanto 40% entendem que as casas de madeira têm um preço inferior. As justificações apresentadas para os preços inferiores assentaram no processo industrializado e racionalizado. Os preços idênticos acabam por ser justificados com argumentos que dão a entender que uma casa de madeira pode ser por princípio mais cara, mas a racionalização dos processos, permite alcançar preços semelhantes. As empresas que indicaram que as casas de madeira têm preços superiores consideraram que a qualidade de uma casa de madeira é superior às casas de construção corrente em termos de conforto térmico, acústico e salubridade), alegando que as casas correntes têm em geral baixa qualidade.

As empresas em que as casas de madeira apresentavam preços superiores indicaram várias formas possíveis de alterar a situação. Algumas empresas referiram que deveria ser a construção corrente a melhorar os parâmetros para atingir os padrões das casas de madeira. Outras empresas consideraram que o aumento da procura e o aumento de unidades produzidas deveria ter como efeito a redução de preço. Outras empresas referiram ainda que a redução do custo da matéria-prima ou a utilização de sistemas que reduzissem a respectiva quantidade (de madeira) poderia conduzir à redução dos preços.



O preço médio das casas de madeira para cerca de metade das empresas (52%) variava entre 500 € e 750 € por metro quadrado. As empresas que apresentavam valores abaixo dos 500 € provavelmente reportavam-se a soluções de cabanas e outras construções temporárias que eventualmente não respondiam às exigências regulamentares para edifícios de habitação. A média dos preços indicados pelas empresas com resultados considerados válidos foi de 660 € por metro quadrado. Deve-se referir no entanto que para cerca de metade destas empresas (44%), neste preço não estavam incluídas as fundações e a ligação das infraestruturas às redes colectivas. Sendo assim, o preço médio final de uma casa de madeira deverá ser superior a este valor.

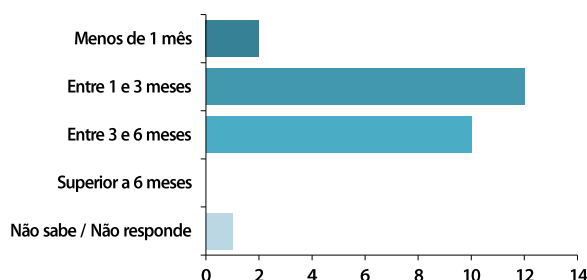


Fig. 179 - Número de respostas das empresas por tempo médio de construção de uma casa de madeira desde o início dos trabalhos até à sua conclusão (Morgado & Pedro, 2011).

O tempo médio de construção de uma casa de madeira (cf. Figura 179) para mais de metade das empresas (56%) desde o início até à sua conclusão é inferior a três meses, sendo para as restantes o prazo compreendido entre três a seis meses. Este poderá ser um factor muito importante a considerar como argumento positivo já que os sistemas correntes comportam tempos de execução muito superiores. Os valores apresentados pelas empresas vão ao encontro daqueles que são praticados nos países onde as casas com estrutura de madeira são correntes. No Canadá por exemplo, onde o sistema de reticulados leves é o dominante na construção de habitação unifamiliar, o tempo de construção de habitações é por norma de 4 meses, ou 4 meses e meio para habitações mais complexas (CMHC, 2013a).

Sobre as características do mercado nacional de casas de madeira, o estudo efectuado permitiu retirar várias conclusões resumindo-se de seguida as mais importantes:

A maior parte das empresas do sector promovia à data do estudo uma oferta de soluções com características estilísticas variadas (tradicionais ou contemporâneas), mas a maioria considerava que os compradores preferiam as linguagens tradicionais. No entanto as empresas que ofereciam apenas modelos contemporâneos afirmavam que os seus clientes preferiam essa abordagem.

O comprador tipo de uma casa de madeira seria relativamente jovem (menos de 55 anos), com formação universitária, e com o objectivo de construir a casa para habitação principal e não secundária.

As preocupações e dúvidas dos clientes, segundo as empresas centravam-se nos aspectos da segurança e desempenho construtivo geral, não havendo um argumento claro para a escolha de uma casa de madeira, embora se destacassem ligeiramente o conforto e a singularidade (estética) do produto.

Quanto aos valores da produção destacou-se o facto de a maior parte das casas construídas em Portugal terem sido realizadas por apenas três empresas, destinando-se 25% da produção à exportação. Confirmou-se que o número de casas de madeira no Parque de habitação nacional, é muito reduzido, podendo afirmar-se com base nos resultados do

inquérito que a percentagem de casas de madeira construídas (3.600 unidades em território nacional) constituía apenas 0,13% do parque de habitação unifamiliar<sup>103</sup>.

Consultando os resultados dos Censos de 2011 (INE, 2012) observa-se que o número de edifícios com outros materiais de construção na estrutura, que não o betão armado ou as alvenarias, com um e dois pisos constituem 0,88%<sup>104</sup> do parque habitacional. Uma vez que a maioria dos edifícios de um e dois pisos do parque habitacional nacional são moradias de um alojamento, este valor dá uma ideia da percentagem que poderão atingir as casas de madeira. Descontando os edifícios de 1 e 2 dois pisos que não serão moradias, ou que não são exclusivamente habitacionais e os que podem ter outros materiais estruturais como as estruturas metálicas, talvez se possa especular que o parque das casas de madeira em Portugal é próximo do valor obtido (0,13%). Se compararmos os números obtidos com os valores do mercado Francês compreende-se a diferença de dimensão do mercado. Em França em 2005 (CNDB, 2012) construíram-se 8.900 unidade de habitação unifamiliar ao que se podem juntar 1.400 apartamentos em habitação colectiva com estrutura de madeira.

#### 1.2.7.5 PERSPECTIVAS DE FUTURO

No estudo “Casas de madeira” as empresas expressaram maioritariamente ter uma percepção positiva da dinâmica do mercado, referindo (72%) que a procura tinha aumentado, tendo 12% considerado que esta estaria estabilizada. Existiam entretanto já 12% das empresas que consideravam que a procura estava a diminuir. As empresas que entendiam que a procura tinha aumentado nos últimos anos justificaram-no devido a factores como: um maior conhecimento do público, maior sensibilidade ambiental, maior interesse por parte dos Arquitectos e uma oferta com preços mais competitivos. Uma das empresas que notava já uma diminuição na procura, referia que embora se notasse um aumento dos interessados, os compradores efectivos diminuía.

A expectativa da maior parte das empresas (80%) era a de que a procura de casas de madeira iria aumentar no futuro. Este optimismo era justificado na altura pela ideia segundo a qual o conhecimento, a exigência e a sensibilidade ambiental iriam crescer e por outro lado, a concorrência entre as empresas conduziria a produtos mais competitivos. Uma das empresas, antecipava já que a procura iria diminuir devido ao excesso de oferta de habitações em Portugal e também devido à falta de recursos financeiros por parte dos compradores.

O principal obstáculo para que houvesse um aumento da procura de casas de madeira (cf. Figura 180) residia, segundo as empresas, nos preconceitos das pessoas (68%). Apontaram-se ainda a falta de apoio por parte do Estado (52%), a falta de técnicos especializados na construção em madeira (44%), o aparecimento de empresas concorrentes de baixa qualidade (com efeitos negativos na imagem do produto “casas de madeira”) e ainda a falta de clareza do enquadramento legal (28%). Outros motivos pontuais mencionados foram os “lobbies do betão armado”, a falta de recursos financeiros e a falta de informação das pessoas.

A maioria das empresas (52%) considerava que no futuro o sector das casas de madeira poderia vir a ocupar até 15% do mercado das habitações unifamiliares, o que é um limiar muito optimista. Mas para 28% das empresas a quota de mercado a alcançar não seria superior a 5%.

<sup>103</sup> Os autores do estudo consideram que as empresas que não responderam ao inquérito não têm dimensão para alterar significativamente os valores obtidos.

<sup>104</sup> Total de edifícios de 1 e 2 pisos: 3.007.616; Edifícios de 1 e 2 pisos com outros materiais estruturais: 26.714

As acções que as empresas perspectivavam para o futuro consistiam principalmente em lançar novos produtos no mercado (60%), melhorar a qualidade dos projectos (56%), direccionar os trabalhos para a reabilitação (40%), procurar os mercados externos (36%), apostar na investigação (36%) e investir em marketing (32%).



Fig. 180 - Número de respostas das empresas por obstáculos à evolução futura do mercado de construção de casas de madeira (Morgado & Pedro, 2011).

Quanto à diversificação de soluções, apenas 60% das empresas consideraram que o sector estaria preparado para passar a oferecer soluções de habitação colectiva. Para além das empresas que, embora com dúvidas, não excluíam essa hipótese (25%), uma minoria (12%) considerava mesmo que essa tipologia estava fora do alcance do sector. Das empresas que consideravam claramente a possibilidade de construírem habitação colectiva, a maioria entendia que quatro pisos era o limite razoável. Quanto à reabilitação, a maioria (68%) entendia que o sector estava apto a disponibilizar produtos para essa actividade. Algumas empresas (20%) manifestavam dúvidas e uma minoria de 12% pensava mesmo que o sector não estaria apto para esse mercado.

As perspectivas positivas das empresas de construção ocorreram antes do período de crise que afectou mais severamente Portugal no final de 2011, atingindo particularmente o sector da construção devida às restrições das instituições financeiras aos empréstimos às empresas e famílias. Mesmo nesse cenário os autores do estudo, apontavam uma janela de oportunidade para o sector:

*“Uma vez que a conjuntura actual obrigará a uma grande contenção na despesa pública, o crescimento nesse sector irá abrandar. Poderá ser então este o momento adequado para que seja dada uma maior atenção à construção em madeira aplicada à habitação. Neste contexto as empresas do sector terão uma oportunidade para demonstrar que as vantagens teóricas da construção em madeira (ao nível da ecologia, do conforto, dos custos, dos tempos de construção e da racionalização dos processos) podem ser concretizadas com benefícios práticos” (Morgado & Pedro, Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal - Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização - Relatório 118/2011 - NAU, 2011, p. 68).*

#### 1.2.7.6 INTERVENÇÃO DOS ARQUITECTOS

A intervenção dos Arquitectos portugueses no projecto e construção de casas de madeira era entendida pela maioria das empresas como reduzida (56%) ou média (28%). Só 16%, ou seja quatro empresas, referiam que os Arquitectos tinham uma intervenção significativa no processo (cf. Figura 181). Quanto à áreas de intervenção dos Arquitectos, o licenciamento era a considerada mais importante (52%). Eram também mencionadas outras áreas como a concepção do projecto específico (personalizado) de casas de madeira (36%), a concepção de modelos ou módulos de casas completas (tipos pré-definidos) (32%) e a adaptação dos modelos pré-definidos às situações específicas de cada obra.

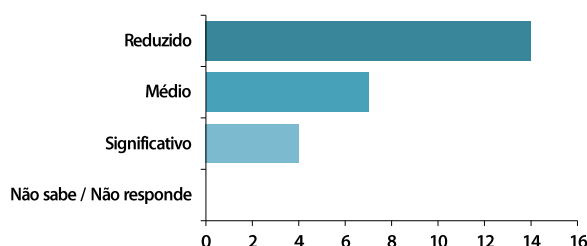


Fig. 181 - Número de respostas das empresas por opinião sobre o papel dos Arquitectos portugueses no projecto e construção de casas de madeira (Morgado & Pedro, 2011).

As possibilidades de participação dos Arquitectos no sector era entendida principalmente como devendo ser feita através da colaboração com as empresas de construção e fabrico de casas de madeira (68%). Durante a realização do inquérito e nas visitas às empresas, tinha-se já detectado que a participação dos Arquitectos em algumas empresas era efectiva tanto no papel de técnicos como no de gestores. Também aqui os autores do estudo consideravam um grande potencial na participação dos Arquitectos no processo de construção das casas de madeira:

*"(...) tem-se a convicção de que a construção em madeira constitui uma interessante oportunidade de trabalho para os Arquitectos por três motivos. Primeiro, este tipo de construção vai ao encontro das aspirações de uma sociedade em que as preocupações ecológicas têm uma importância crescente. Segundo, a construção em madeira tem um elevado potencial para a exploração de soluções arquitectónicas inovadoras. Por último, a maioria das empresas considera que as casas ou os modelos importados de outros países necessitam de algumas adaptações em termos técnicos e de linguagem arquitectónica de modo a melhor se adequarem ao contexto nacional."* (Morgado & Pedro, 2011, p. 68).

#### 1.2.7.7 PANORAMA INTERNACIONAL

O mercado das casas de madeira em Portugal é, em termos globais, residual quando comparado com os países das regiões tradicionais da construção em madeira. Palmer (Palmer, 2000) apresentava em 2000 os seguintes valores que permitem obter uma ordem de grandeza do mercado de alguns países: Austrália, Canadá, Noruega, Suécia e USA, com uma percentagem de habitação em madeira superior a 90%, o Japão com 45%, a Irlanda com 10%, e o Reino Unido com mais de 8% (sendo a Escócia um caso particular com cerca de 40-45%). Jonsson (2009) apresentou em 2009 diferentes estatísticas que incluíam outros países: a França com 4%<sup>105</sup>, a Alemanha com cerca de 14% (de casas construídas em 2006), a Irlanda com 30% (de casas construídas em 2006), a Holanda com 3% (de casas construídas em 1998), a Suécia com 80 a 90% e o Reino Unido, que em reduzido tempo conheceu um grande aumento, com 21%<sup>106</sup> (integrando a Escócia com 74% e Inglaterra com 15%).

Dados apresentados na publicação "Wood Market Trends in Europe"<sup>107</sup> (Wahl, 2008), reuniam as seguintes informações adicionais para percentagem de novas construções de casas: Bélgica com 18%, Suíça com 18%, Áustria com 15%, Dinamarca com mais de 10%, Polónia com 5%, e Espanha com menos de 1%.

Os estímulos à construção em madeira normalmente incidem na informação, na regulamentação e nos incentivos fiscais. Alguns países, como a Suécia, o Reino Unido, a França, e a Holanda (Jonsson, 2009) entenderam que seria importante estimular a construção em madeira adoptando para tal estratégias de incentivo. A Suécia, que apenas em 1995 eliminou dos regulamentos as restrições à construção em madeira, estabeleceu a

<sup>105</sup> Valor que entretanto surge em 2012 com 11% (Ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'Énergie, 2015)

<sup>106</sup> Em 10 anos terá aumentado de 7% para 21% (Jonsson, 2009).

<sup>107</sup> Os países mencionados antes surgiam neste documento com as seguintes percentagens: Irlanda com 21%, Reino Unido com 21%, França com 3%, Alemanha com 12% (Wahl, 2008).

nível governamental estratégias de promoção da construção em madeira, com projectos de construção e formação específica, direccionadas para o mercado da habitação com mais de um piso, abrangendo também outras tipologias como pontes e escolas. O Reino Unido promoveu também a nível governamental nos vários programas de construção pública, o uso de sistemas construtivos otimizados (*Modern Methods of Construction* - MMC) onde se incluem os sistemas de construção em madeira industrializados, tendo por objectivo otimizar a qualidade e a produção de habitação. A França iniciou em 1996 um programa nacional de promoção de madeira (*Bois - Construction - Environnement*) tendo implementado um Decreto que exige que os novos edifícios incorporem uma quantidade mínima de madeira por cada m<sup>2</sup> de área bruta. A Irlanda avançou com um programa de habitações de baixo Carbono do qual beneficiam as casas de madeira. Na Holanda, entre 1995 e 1999 o Governo conduziu um programa de promoção da construção em madeira como uma alternativa ambiental aos sistemas convencionais. O governo Alemão definiu em colaboração com a indústria uma estratégia de promoção com o objectivo de aumentar o consumo de madeira até 2014 (Gold & Rubik, 2008). No Japão, ou na administração de cidades como Latrobe - Wellington Shire, na Austrália, no distrito de Rotorua na Nova Zelândia, ou nas províncias do Ontário e de British Columbia no Canadá, foram adoptadas políticas (de incentivo, privilégio ou obrigação) ao uso de madeira nos edifícios públicos. No âmbito dos concursos públicos no Quebec beneficiam-se as propostas de construção que integrem madeira, equiparando-as a outras propostas com outros materiais mesmo que essas impliquem custos superiores a estas em 5% (Planet Ark Environmental Foundation, 2015).

As especificidades nacionais observadas através da cultura, da floresta, dos regulamentos, do clima e do mercado de casas de madeira permitiram identificar os principais constrangimentos e as principais potencialidades da construção de casas de madeira. Uma tradição pouco consistente de construção integral em madeira, uma floresta não preparada para fornecer madeira estrutural, regulamentos em falta, um clima adversos e um mercado residual são os constrangimentos que no entanto oferecem uma grande margem de crescimento. O afastamento dos Arquitectos do tema da construção em madeira reflecte-se também na cultura universitária das escolas de Arquitectura, no desconhecimento do material-madeira e das suas singularidades e exigências, e finalmente um problema metodológico referente à forma como o Arquitecto aborda o projecto de Arquitectura. Não será por acaso que foram as empresas e não os Arquitectos as pioneiras em Portugal neste tipo de solução para a habitação unifamiliar.

Para abordar o problema do método de projecto será necessário antes de mais conhecer o universo das tipologias arquitectónicas associadas à construção em madeira. Do ponto de vista de um Arquitecto a relação entre a os aspectos formais da arquitectura e os aspectos construtivos está na base desse conhecimento. Sendo assim estudam-se no capítulo seguinte as tipologias arquitectónicas considerando a divisão teórica entre sistemas construtivos e sistemas formais.

## 2 TIPOLOGIAS ARQUITECTÓNICAS

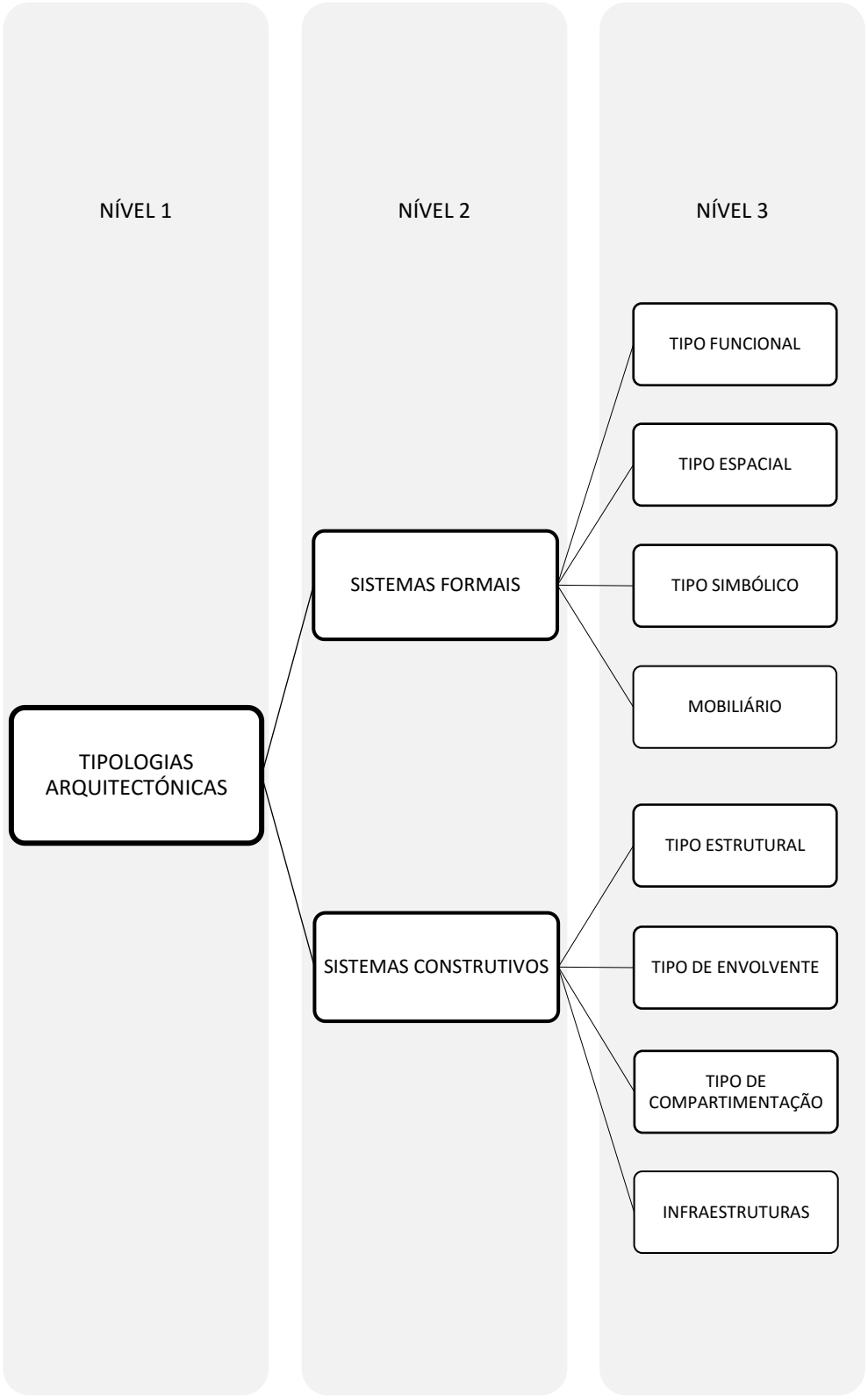
O processo de conhecimento da construção em madeira poderá ser iniciado através de uma via indutiva, começando pela abordagem às características do material (matéria de revisão contemplada no Anexo II - A madeira como material) ou através de uma via dedutiva que privilegia os aspectos gerais dos sistemas de construção, dos processos e das obras construídas em madeira. O conhecimento do Arquitecto, dada a sua vocação integradora e generalista privilegia a segunda abordagem. Nesta perspectiva, será natural começar por tratar a construção em madeira a partir de um instrumento generalizador e classificador - as tipologias arquitectónicas - que permite organizar o conhecimento.

Para além de instrumentos teóricos de conhecimento, as tipologias desempenham uma função pragmática já que fazem parte da informação de base, prévia à concepção da Arquitectura. Um “tipo” define-se pela observação das invariantes (funcionais, linguísticas e técnicas) da realidade (Portas, 2005), reunindo um conjunto de características tipológicas relevantes dessa mesma realidade (Cabrita, António Reis, 1986). Por um lado os tipos arquitectónicos correspondem a soluções recorrentes num dado contexto, por outro lado possibilitam identificar e relacionar as aspirações de um cliente, com um tipo de solução. Através da identificação e do conhecimento de soluções recorrentes e disponíveis num dado contexto obtém-se um maior número de variantes e consequentemente uma maior possibilidade de sucesso na resposta aos problemas colocados aos projectistas.

Admitir-se-á neste estudo que num projecto de Arquitectura uma determinada tipologia arquitectónica pode ser teoricamente decomposta em dois grupos de sistemas iniciais (cf. Fluxograma 3): os sistemas formais e os sistemas construtivos. De uma forma muito simplificada poderia descrever-se esta grande divisão atribuindo ao primeiro grupo a componente espacial e artística da Arquitectura e ao segundo a componente construtiva e técnica. Os sistemas formais por sua vez englobam os tipos funcionais, os tipos espaciais e os tipos simbólicos, podendo ainda incluir-se as soluções de mobiliário ou de *design* de interiores. Os sistemas construtivos englobam os tipos estruturais, os tipos de envolvente e os tipos de compartimentação, podendo ainda incluir-se um subgrupo das soluções de infraestruturas.

Os tipos funcionais são formulações gerais de definições programáticas. Os tipos espaciais são esquemas simplificados de soluções arquitectónicas, apresentando a geometria das principais relações espaciais. Os tipos simbólicos são as formulações estilísticas que permitem associar uma solução a um partido conceptual estético. Os tipos estruturais identificam-se com as famílias de sistemas estruturais, cujo comportamento e regras se conhecem a partir do seu uso recorrente. Os tipos de envolvente construída são constituídos pelas soluções mais usuais de fachada, pavimento térreo e cobertura. Os tipos de compartimentação são constituídos pelo conjunto dos elementos de divisão espacial de interior que definem os diversos compartimentos.

Fluxograma 3 - Sistematização tipológica dos tipos arquitectónicos.





## 2.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

O conceito de “sistema construtivo” resulta de uma classificação baseada em características cujo campo disciplinar ultrapassa a área específica da Arquitectura englobando as diversas disciplinas das especialidades necessárias à sua efectiva compreensão. Neste estudo porém, essas áreas serão consideradas apenas nos aspectos que interessam a uma perspectiva arquitectónica. O objectivo deste capítulo consiste em definir cada um dos sistemas construtivos com base nas suas características principais, tentando estabelecer uma síntese de modo a ser possível construir uma informação de base de auxílio ao projecto de Arquitectura. O sistema construtivo foi decomposto em três tipos: o tipo estrutural, o tipo de envolvente e o tipo de compartimentação em função das diferentes características tipológicas que os permitem definir. Os tipos estruturais de construção em madeira levantaram problemas de identificação particulares, tendo sido necessário efectuar um trabalho de classificação e clarificação terminológica mais aprofundado do que o efectuado para os restantes tipos.

A diversidade de sistemas construtivos em madeira coloca dificuldades tanto na sua caracterização como na utilização de nomenclaturas, sendo frequentes os equívocos de interpretação. Uma forma de ultrapassar este problema tendo em vista o estudo das várias soluções disponíveis consiste em efectuar a sua classificação através de um agrupamento em famílias realizado em função de critérios de semelhança e diferenciação. A classificação, uma vez concretizada facilita o conhecimento e a avaliação dos sistemas já que se consegue assim reduzir substancialmente as variáveis que estão presentes nas múltiplas soluções comerciais oferecidas pelo mercado e nas possibilidades disponibilizadas pela história da Arquitectura e pelos manuais da especialidade.

Verificou-se também que a terminologia utilizada para designar cada sistema depende não só da língua mas também dos contextos regionais em que surge, verificando-se com frequência a utilização de designações distintas para nomear soluções semelhantes. Outra situação, também detectada, em que o mesmo nome é utilizado para designar diferentes soluções vem agravar o panorama descrito. Em Portugal a utilização meramente excepcional ou parcial da madeira para projectos de habitação não permitiu ainda consolidar uma base terminológica para designar os sistemas construtivos. Por esse motivo verifica-se na literatura recente sobre construção em madeira em Portugal não só uma grande diversidade de designações, mas também alguma dificuldade na caracterização.

Assim, a par da descrição dos tipos estruturais, de envolvente e de compartimentação, realizou-se uma proposta de classificação e de definição de uma terminologia para os sistemas estruturais em madeira destinados a soluções de habitação unifamiliar. Esta proposta tem por base um trabalho de levantamento de classificações e terminologias encontrados em diversos documentos nacionais e estrangeiros, nomeadamente manuais e trabalhos académicos (Morgado, Guedes, Ferreira, & Cruz, 2012).

### 2.1.1 CONCEITOS

Ao longo do texto serão empregues termos como: “construção em madeira”, “sistema construtivo”, “tipo estrutural”, “processo de construção”, “elemento de construção”, “componente de construção”, entre outros. Será importante clarificar de seguida as definições que são assumidas relativamente a cada um destes conceitos.

#### 2.1.1.1 CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

Neste trabalho, entende-se por “sistemas de construção em madeira”, todos aqueles em que os elementos construtivos da superestrutura (todos os elementos acima da cota de soleira) são maioritariamente constituídos por componentes estruturais principais de madeira ou derivados<sup>108</sup>. Neste critério admite-se a coexistência de elementos e componentes estruturais de outros materiais desde que a sua contribuição para a função estrutural seja reconhecida como um complemento à solução principal. Em geral a presença destes elementos complementares está relacionada com exigências estruturais, visando cumprir funções como o contraventamento ou a ligação entre componentes. A introdução de componentes de outros materiais relaciona-se também com a necessidade de responder a exigências de segurança, de conforto acústico ou de estanquidade. O uso de paredes de alvenaria de tijolo ou de betão em situações especiais como nas empenas, nas chaminés, nas caixas de escadas ou em paredes divisórias de compartimentos como as cozinhas ou as casas de banho, ou a introdução de elementos metálicos pontuais de reforço estrutural, constitui uma prática corrente nas construções em madeira.

Quando a classificação de um tipo estrutural específico suscita dúvidas por incorporar mais do que um material, serão considerados dentro do grupo da construção em madeira aqueles casos em que, uma vez subtraídos teoricamente os outros materiais (excluindo os ligadores entre elementos), o conjunto dos elementos de madeira mantém a sua integridade formal. Excluem-se assim deste estudo os sistemas mistos, nos quais a madeira desempenha uma função estrutural em complemento a outros materiais. Apesar do seu claro interesse prático e académico, a sua inclusão exigiria um estudo de muito maior dimensão devido ao elevado número de variantes que deveriam ser contempladas.

#### 2.1.1.2 SISTEMA CONSTRUTIVO

Um “sistema” é um conjunto de partes agrupadas para satisfazer objectivos específicos e sujeitos a condicionantes diversas<sup>109</sup>. Um sistema construtivo é o resultado de operações de construção (montagem e instalação) que inter-relacionam diferentes componentes de construção com o objectivo de concretizar uma obra em resposta a um programa definido. Numa construção podem definir-se diferentes sistemas em função dos objectivos estabelecidos para cada conjunto de partes, identificando-se assim em geral no sistema construtivo de um edifício, o tipo estrutural, o tipo da envolvente, os tipos de compartimentação e as diversas soluções das infraestruturas. Cada sistema<sup>110</sup> pode ser decomposto em diversos subsistemas como acontece com os sistemas de paredes, de cobertura e do pavimento térreo incluídos no sistema da envolvente.

#### 2.1.1.3 SISTEMA ESTRUTURAL OU TIPO ESTRUTURAL

Entende-se por sistema estrutural, ou “tipo estrutural”, um conjunto coerente de elementos de construção que têm como função principal suportar todas as cargas a que o edifício é sujeito. A coerência do conjunto depende de um corpo de princípios e regras relacionadas com o tipo de componentes utilizados, o seu material, a sua geometria e a sua forma bem como as

<sup>108</sup> Kolb (2008, p. 40) também utiliza um critério quantitativo para definir um campo específico da construção em madeira. Na sua perspectiva para que um determinado sistema de construção possa ser considerado do tipo “construção em madeira maciça” (*solid timber construction systems*) é necessário verificar-se uma quantidade de madeira maciça (*solid timber*) no sistema construtivo, superior a 50% do total do sistema.

<sup>109</sup> Em “Building design and construction handbook” (Merrit & Ricketts, 2000) utiliza-se a seguinte definição de sistema: “A system is an assemblage formed to satisfy specific objectives and subject to constraints and restrictions and consisting of two or more components that are interrelated and compatible, each component being essential to the required performance of the system”.

<sup>110</sup> Será possível utilizar o conceito de “sistema construtivo” em qualquer solução de construção, no entanto a terminologia é aplicada em geral a soluções industrializadas.

ligações que são estabelecidas entre eles. Embora correntemente seja mais utilizado o termo “sistema estrutural”, nesta tese adopta-se a designação “tipo estrutural” porque a abordagem tipológica proposta pressupõe que os “sistemas estruturais” podem ser classificados segundo categorias tipológicas, ou seja os “tipos”.

A decomposição de um edifício em diversos subsistemas, ou subtipos, permite considerar que o tipo estrutural é aquele que mais condiciona os restantes uma vez que é ele que vai constituir o suporte da construção, do espaço e da forma. De todos os tipos, este é aquele que em caso de acidente ou catástrofe, deverá ser o último a perder a integridade. A estrutura de um edifício é constituído pela superestrutura, pela subestrutura (a porção de estrutura abaixo da cota de soleira) e pelas fundações. A superestrutura é formado geralmente por elementos horizontais (vigas, painéis ou lajes) que suportam os pavimentos e coberturas e por elementos verticais (pilares, painéis ou paredes) que suportam os anteriores.

No caso da construção em madeira é assumido como princípio que à excepção de soluções muito específicas (construções com postes de madeira cravados no solo), a componente de madeira corresponderá à superestrutura. A subestrutura e as fundações são em geral executadas recorrendo a outros materiais como o betão armado.

#### 2.1.1.4 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

Segundo a definição da ISO 12006-2 (ISO, 2001), “processo de construção” é o procedimento que transforma os recursos de construção em resultados construídos. Os processos de construção são então o conjunto das operações que resultam numa obra construída, podendo ser classificados em função do nível de industrialização das operações (produção em fábrica versus produção na obra) em gradações crescentes: processos tradicionais; pré-fabricação reduzida, moderada, elevada e integral. A maior parte dos sistemas de construção em madeira envolvem operações de pré-fabricação, em maior ou menor grau, sendo consensual que este processo introduz um factor de economia no sistema (Kolb, 2008, p. 42). Neste sentido a utilização de componentes normalizados (blocos de madeira, componentes de parede, de pavimento ou de cobertura) que os fabricantes podem armazenar para utilização futura permitem, em teoria, reduzir os custos.

Tradicionalmente a adopção da pré-fabricação era conjugada com a produção em série para otimizar teoricamente os recursos. Este processo implicava a repetição de soluções, o que do ponto de vista do mercado e da qualidade arquitectónica nunca foi considerado muito apelativo. No sector específico da habitação, o equilíbrio entre a personalização das soluções e a industrialização da construção tem sido um campo de pesquisa muito vasto e que muito tem seduzido os Arquitectos, pelo menos desde o século XIX. Após muitas experiências e tentativas de serem criadas soluções genéricas tem-se concluído que as soluções óptimas do ponto de vista da racionalidade e do *design*, e normalmente inventadas por Arquitectos, raramente conseguem vingar no mercado (Davies, 2005). Os métodos de pré-fabrico mais recentes que incluem sistemas de corte CNC tendem precisamente a personalizar as soluções sem exigir a repetição de componentes e sem perda do factor economia.

#### 2.1.1.5 PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO

“Produto de construção” é uma designação genérica cuja definição surge no Regulamento dos Produtos de Construção como:

*“um produto colocado no mercado para incorporação permanente em obras de construção ou em partes delas e cujo desempenho influencia o desempenho das obras de construção no que se refere aos seus requisitos básicos”.*  
(União Europeia, 2011)

Noutra definição, a ISO 12006-2 “Building construction - Organization of information about construction works”, considera que são produtos de construção, os recursos destinados a ser incorporados de forma permanente num edifício ou em outra entidade de construção (e.g. porta, janela, asfalto, etc.).

Um produto de construção pode adquirir diversas formas, desde as mais elementares como as dos materiais e componentes básicos, até aos mais elaborados como os componentes completos. Nos graus mais elevados da hierarquia dos produtos de construção incluem-se os “kits de partes”. O grau mais elementar corresponderia ao “material” cuja definição, recorrendo à classificação da construção Omniclass (OCCS Development Committee Secretariat, 2012) é a de uma substância usada na construção ou no fabrico de produtos e outros objectos destinados à construção, podendo-se ainda distinguir entre materiais em bruto e materiais refinados.

#### 2.1.1.6 COMPONENTE DE CONSTRUÇÃO

Componente de construção, segundo Faria (1996), é:

*“o produto prefabricado em unidade industrial a partir de diversos materiais simples e que se destina a incorporar num elemento de construção de acordo com processos de construção e montagem bem definidos” (Faria J. A., 1996).*

Para Cabrita (1996) um componente é um produto:

*“já disponível no mercado ou produzido especialmente e que funciona para o projectista ou para o estaleiro como unidade mínima indivisível de montagem de um elemento de construção (ex. aro, bit, interruptor, torneira)” (Cabrita, 1996, p. 165)*

Neste entendimento, os componentes de catálogo destinados a construir elementos complexos com montagens industrializadas seriam componentes. Um componente é então um produto de construção que para cumprir uma função construtiva necessita de ser adicionado a outros componentes, ou montado em obra numa determinada posição e contexto. Pode-se ainda diferenciar, como proposta para este estudo, os componentes básicos dos componentes completos. Componentes básicos seriam aqueles que necessitam de ser de algum modo transformados ou adicionados a outros componentes para concretizar um determinado elemento construtivo que satisfaz uma função predominante ou autónoma. Componentes completos seriam os que não necessitam de ser associados a outros elementos para assumir uma função autónoma, bastando para tal a sua montagem na obra.

#### 2.1.1.7 COMPONENTES DE MADEIRA

Os componentes de madeira podem em geral ser classificados em dois grupos principais em função das suas características geométricas: os lineares e os planos. Quanto à sua composição há no mercado três tipos fundamentais de componentes: os de madeira maciça, os compostos estruturais de madeira<sup>111</sup> e os aglomerados de madeira (Cachim, 2007). Pode ainda considerar-se uma distinção entre componentes de madeira estruturais e não estruturais, sendo estes últimos associados principalmente à função de revestimento.

Os componentes lineares são produtos em que uma dimensão (o comprimento) é substancialmente superior às duas dimensões restantes. Alguns dos principais componentes estruturais lineares são apresentados na Tabela 4.

---

<sup>111</sup> Paulo Cachim utiliza a designação “secções estruturais de madeira” em vez de “compostos estruturais de madeira”.

Os componentes planos são produtos em que uma das dimensões (a espessura) é substancialmente inferior às duas dimensões restantes. Alguns dos componentes estruturais planos são apresentados na Tabela 5.

Os componentes em blocos (cf. Tabela 6) são produtos em que a dimensão maior não é substancialmente superior às restantes dimensões do componente. Distinguem-se os blocos vazados, fabricados com componentes colados e os blocos de madeira maciça.

### Componentes lineares

Tabela 4 - Componentes estruturais lineares.

Componentes estruturais lineares	
Produtos estruturais de madeira maciça	Madeira redonda Madeira redonda elaborada Madeira serrada
Compostos estruturais de madeira (Engineered wood products)	Madeira lamelada colada (Glulam) Madeira estrutural com finger jointing (KVH®) Vigas duo, trio e de 4 componentes Madeira microlamelada - LVL (Laminated Veneer Lumber) PSL (Parallam - Parallel Strand Lumber) LSL (Laminated Strand Lumber) Vigas I (I-joist)

### Componentes planos

Tabela 5 - Componentes estruturais planos.

Componentes estruturais planos	
Compostos estruturais de madeira (Engineered wood products)	Contraplacados correntes Contraplacados de três e cinco camadas LVL (Laminated Veneer Lumber) PSL (Parallam - Parallel Strand Lumber) LSL (Laminated Strand Lumber) CLT (Cross Laminated Timber) EGT (Edge-glued timber) Painéis reticulados (com contraplacado ou OSB e montantes)
Aglomerados de madeira	Aglomerados de partículas de madeira Aglomerados de partículas de madeira longas orientadas (OSB) Aglomerados de fibras de madeira (SB, MBL, MBH, HB, MDF, HDF)
Compostos de madeira e outros materiais	Aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento (CBPB) SIP (Structural insulated panel - Painéis estruturais com isolamento)

### Componentes em blocos

Tabela 6 - Componentes estruturais em blocos.

Componentes estruturais em blocos	
Blocos de madeira vazados	Blocos tipo Lignotrend, Steko, Lignoswiss
Blocos de madeira maciços	Blocos tipo PMB bloc

#### 2.1.1.8 COMPONENTES E TIPOS

A indústria de construção fornece o mercado dos componentes básicos de madeira estruturais e não estruturais a utilizar na construção. Os componentes básicos podem já ter um determinado um potencial para constituir um elemento específico, mas só depois de serem transformados com esse objectivo estarão aptos para colocação em obra. Depois de ser retirada da floresta, a madeira é transformada na fábrica assumindo a forma de componente básico através de operações como a serragem, a colagem, a pregagem, a moagem ou a prensagem. A conjugação de vários componentes básicos lineares ou planos forma um componente completo apto a assumir uma função estrutural com uma geometria eventualmente diferente de cada um dos seus componentes (linear, plana ou tridimensional).

Assim, no fabrico dos componentes estruturais podem considerar-se as operações elementares que constam da Tabela 7.

No âmbito dos processos industrializados que contemplam a pré-fabricação desenvolvem-se os componentes completos<sup>112</sup> de madeira que são produtos de construção produzidos em fábrica e destinados a cumprir uma função pré-definida. Após a sua montagem em obra, estes passam a ser elementos do tipo (cf. Tabela 8).

Tabela 7 - Operações de integração de componentes básicos e tipos estruturais resultantes.

Componente básico		Componente básico		Componente para o tipo estrutural
Componente linear	+	Componente linear	=	Componente para sistema Porticado
Componente linear	+	Componente linear	=	Componente para sistema Reticulado
Componente linear	+	Componente linear	=	Componente para sistema Parede (e.g. toros)
Componente plana	+	Componente plana	=	Componente para sistema Parede (e.g. blocos)
Componente linear	+	Componente plana	=	Componente para sistema Painel
Componente plana	+	Componente plana	=	Componente para sistema Painel
Componente plana	+	Componente plana	=	Componente para sistema Módulo
Componente linear	+	Componente plana	=	Componente para sistema Módulo

Tabela 8 - Componentes completos e elementos dos tipos estruturais.

Componentes estruturais completos	Elementos dos tipos estruturais	Grupos do tipo estrutural
Pilares, vigas Montantes, Travessas, Escoras Blocos de madeira para aparelhar, Toros transformados, Painéis	Pórticos Planos reticulados Paredes estruturais	Estruturas verticais
Painéis Vigotas, Vigas, Trelças	Elementos planos Elementos lineares	Estruturas horizontais
Painéis Vigotas, caibros Asnas	Elementos planos Elementos lineares Elementos reticulados	Estruturas inclinadas

O tipo de componentes utilizados permite assim classificar os princípios de construção e concepção<sup>113</sup>: 1) Unidades lineares baseadas em grandes dimensões modulares (vãos dos pórticos) e implantação pontual; 2) Unidades lineares baseadas em pequenas unidades modulares (e.g. afastamento dos montantes dos planos reticulados - 60x60cm) e implantação linear; 3) Pequenas unidades modulares baseadas em dimensões normalizadas (e.g. dimensão dos blocos de madeira - 64cm comprimento) e implantação linear; 4) Unidades lineares baseadas em grandes dimensões (e.g. dimensão máxima dos toros) e implantação linear; 5) Unidades planas baseados numa dimensão modular reduzida (e.g. dimensão dos painéis - 100cm, 120cm, 125cm) e implantação linear; 6) Unidades planas baseados numa dimensão modular de grande dimensão (e.g. fachadas completas) e implantação linear; 7) Componentes espaciais parciais e implantação tridimensional; 8) Componentes espaciais totais e implantação tridimensional.

Cada princípio de construção poderá então ser avaliado em função das diversas condicionantes que impõem ao processo de concepção e construção: as dimensões modulares, a liberdade de desenho, a produção em série, a especialização do fabricante, a especialização do construtor, o tempo de produção, o tempo de construção, o transporte e as operações de grua.

<sup>112</sup> Kolb descreve as seguintes fases para concretizar um componente completo de parede (Kolb, 2008, pp. 46, 47): 1) Montagem (ligação) de elementos individuais; 2) Montagem de pelo menos um elemento bidimensional (placa, painel, etc.); 3) Fecho dos elementos nas faces interior e exterior com isolamento interior; 4) Montagem de elementos como portas e janelas; 5) Revestimentos interiores e exteriores.

<sup>113</sup> A classificação de Kolb é a seguinte (Kolb, 2008, pp. 44,45): 1) Pequenas unidades baseadas numa dimensão modular (e.g. 160mm de espessura - blocos de madeira); 2) Componentes baseados numa dimensão modular (e.g. 1000, 1200, 1250mm - painéis); 3) Componentes com dimensões de espaços ou do edifício (e.g. lajes, fachadas); 4) Módulos espaciais (e.g. unidades espaciais acabadas).

#### 2.1.1.9 ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Cada elemento de construção<sup>114</sup> pode ser constituído por um conjunto de outros elementos e estes por sua vez podem ser constituídos por componentes. Faria (1996) define elemento de construção como:

*“(...) o constituinte de um subsistema de construção aplicado no seu local de utilização e realizado a partir de materiais simples, componentes e processos de construção”. (Faria J. A., 1996)*

Cabrita (1996) define elemento de construção como:

*“(...) uma parte do edifício que desempenha uma determinada função, independentemente do tipo de edifício”. (Cabrita, 1996)*

Na definição da ISO 12006-2 (ISO, 2001) “elemento” é uma entidade parcial da construção que por si própria ou em combinação com outras partes satisfaz a função predominante dessa entidade parcial. Exemplo de elementos de construção são as paredes exteriores, o pavimento, a cobertura, a fundação, o pilar, etc. Exemplos de funções predominantes são a compartimentação, a estrutura vertical, o contraventamento, etc. Um elemento de construção será então uma unidade funcional de um edifício que pode ser constituída por diversos componentes de construção.

Na hierarquia da edificação, distinguem-se ainda os elementos primários dos elementos secundários e das instalações. Os elementos primários são os que constituem a estrutura resistente e a compartimentação interior (ex. sapata, pilar, parede de alvenaria, etc.), os elementos secundários serão por exemplo os revestimentos e os acabamentos. As instalações serão as infraestruturas de cada especialidade contemplada na construção.

#### 2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DE TIPOS ESTRUTURAIS

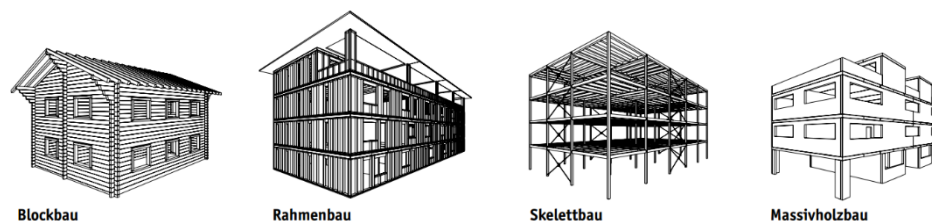


Fig. 182 - Principais tipos estruturais (paredes de toros, painéis reticulados, porticado e painéis maciços) (Lignum ®) ([http://www.lignum.ch/uploads/media/Holzbau\\_Argumente.pdf](http://www.lignum.ch/uploads/media/Holzbau_Argumente.pdf)).

##### 2.1.2.1 O PROBLEMA DA CLASSIFICAÇÃO

Como se referiu antes, pretende-se propor uma terminologia e uma classificação dos tipos estruturais em madeira vocacionados para habitação. A adopção de uma terminologia e uma clarificação dos respectivos significados serão importantes para uma eficaz comunicação. Adicionalmente, a classificação facilitará o conhecimento e avaliação dos vários tipos através da redução das variáveis em presença. A terminologia utilizada para designar cada tipo depende da língua e dos contextos, verificando-se com frequência a utilização de designações distintas para soluções semelhantes.

Em Portugal não se consolidou ainda a terminologia a adoptar para cada tipo estrutural devendo-se esta situação à reduzida importância da construção em madeira, o que pode ser

<sup>114</sup> Para cada elemento de construção existem diversas soluções técnicas possíveis. A ISO 12006-2 distingue elemento em geral de elemento projectado (*designed element*) (ISO, 2001) sendo este considerado “um elemento para a concretização do qual foi definido um determinado trabalho de construção” (eg parede de placas de gesso fixadas a montantes de madeira). Segundo esta definição, um elemento projectado é uma solução técnica para satisfazer a função do elemento genérico (eg parede).



confirmado por vários textos onde se descrevem as soluções construtivas em Portugal. Em “Análise dos sistemas construtivos portugueses” (Faria F. , 1997) identificou-se a construção em madeira em Portugal com apenas um tipo estrutural (elementos articulados de madeira). Em “Habitar sob uma segunda pele” (Mendonça, 2005) referiu-se para o caso da madeira somente às “paredes maciças” (paredes de troncos) e às “paredes compostas” (gaiolas de grande secção e gaiolas leves). Em “Sistemas de construção - III” (Mascarenhas, 2006) consideraram-se relevantes apenas três tipos de paredes em madeira (toros, pranchas e mistos porticados-reticulados leves).

A comparação efectuada após uma consulta sistemática a diversos manuais sobre construção em madeira permite identificar três situações: 1) Divergências na terminologia utilizada; 2) Divergências nos sistemas de classificação adoptados; e 3) Omissão de tipos estruturais importantes. A primeira situação deve-se a diferenças linguísticas, geográficas e culturais. A segunda situação resulta das diferentes perspectivas adoptadas e da subjectividade dos autores. A terceira situação resulta da grande diversidade de tipos existentes, levando os autores a privilegiar aqueles que melhor conhecem ou que são os mais difundidos no respectivo contexto. Será por esse motivo que em manuais como “Casas de madeira” (Peraza Sánches, et al., 1995), ou “Manual - La construcción de viviendas en madera” (Fritz Durán, 2004), se omitem os painéis lamelados colados. É também natural a omissão de tipos de difusão restrita como acontece com o “pole construction” ou o “post frame”, difundidos principalmente nos EUA (Estados Unidos da América) (American Institute of Timber Construction, 2012).

A nível internacional a ambiguidade das designações verifica-se de uma forma muito evidente quando se comparam os significados divergentes da expressão “timber frame”. No manual “Systems in timber engineering” (Kolb, 2008), “timber frame” é utilizada para designar a construção de “reticulados pesados tradicionais” (cf. Tabela 13, Figura 1.2.2.1.). Mas em “Components and systems” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008), a mesma expressão refere-se com alguma ambiguidade tanto a esse tipo como aos tipos “reticulados leves” e “porticados” em geral. Já em “Timber construction manual” (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008), “timber frame” designa simultaneamente os “reticulados leves tipo platform frame” (Tabela 13, Figura 1.1.1.1.) e os “painéis leves reticulados” (Tabela 13, Figura 2.1.2.1.).

A discussão em redor deste género de ambiguidades pode ser observada na internet, em sítios de discussão de profissionais especializados na construção em madeira. Num recente tópico do sítio LinkedIn (Pickartz, 2012) ficou patente a divergência de terminologia adoptada por empresas dos Estados Unidos da América (EUA) e do Reino Unido (RU). No RU, “timber frame”, para além de um termo genérico para designar qualquer estrutura de madeira é uma expressão associada aos “reticulados leves tipo platform frame” e aos “painéis leves reticulados”. Nos EUA, “timber frame” é uma expressão específica para designar um tipo de estrutura “porticada tradicional” (Tabela 13, Figura 1.2.1.3.) em que as ligações entre componentes se fazem por entalhes e cavilhas. Na América do Norte, os termos mais comuns para os reticulados leves são: “light-frame” ou “wood frame”.

Efectuou-se uma proposta de classificação e hierarquização, em função de critérios de semelhança de características, com o objectivo de poder ser utilizada ao longo de todo o texto. A proposta fundamentou-se num trabalho de levantamento que consistiu primeiro em reunir uma lista de terminologias e classificações que foram agrupadas em função da caracterização de cada autor. Depois de agrupados e identificados os diferentes tipos atribui-

se a cada sistema uma designação acompanhada por uma síntese desenhada muito simplificada

Dada a diversidade de critérios disponíveis em função do interesse específico de cada abordagem (da produção, da construção e do projecto), foram desenvolvidas duas alternativas à proposta principal.

#### 2.1.2.2 SÍNTESE DO LEVANTAMENTO

Os manuais mais abrangentes coincidem com a classificação *Masterformat* (CSI - Construction Specifications Institute, 2005) distinguindo estruturas “*wood framing*” (reticulados), “*structural panels*” (painéis estruturais) e “*heavy timber*” (estruturas pesadas). Neste caso colocam-se ao mesmo nível, grupos que deveriam pertencer a níveis diferentes, ou seja, as estruturas reticuladas e as estruturas pesadas diferenciam-se pelo critério peso, por outro lado os “painéis estruturais” são definidos com base numa característica dimensional e não de massa. Em “*El futuro de la construcción com madera*” (Grohe, 2001) distinguem-se: “*estructuras de esqueleto ou porticadas*”; “*sistemas de entramado ligero*”; “*sistemas espaciales*”; e “*sistemas superficiales*”. Neste caso a ambiguidade resulta de se colocarem no mesmo nível critérios referentes à geometria dos componentes (distinguindo sistemas espaciais de sistemas superficiais) e critérios mais detalhados que diferenciam as “*estructuras de esqueleto*” dos “*sistemas de entramado ligero*” que deveriam estar englobados no grupo dos “*sistemas lineares*”. Daí resulta outra situação típica que consiste em considerar os “reticulados leves” (Tabela 13, Figura 1.1.1.1.) e os “painéis leves reticulados” (Tabela 13, Figura 2.1.2.1.) no mesmo grupo (“*sistemas de entramado ligero*”), quando na verdade os primeiros são montados em obra e os segundos são pré-fabricados, merecendo por isso uma distinção de princípio.

Outra tendência recorrente consiste em dar muito relevo a tipos que não têm significado na construção nova, como é o caso dos “reticulados leves tipo *balloon frame*” e dos “reticulados pesados tradicionais”. Esta situação surge em diversos manuais como “*The construction of buildings*” (Barry, 1999), “*Building construction handbook*” (Chudley & Greeno, 2004), “*Architect’s data*” (Neufert & Neufert, 2002), ou “*Systems in timber engineering*” (Kolb, 2008). Noutros manuais, desagrega-se muito um determinado tipo estrutural, considerando as suas variantes de pormenor sem se efectuar o mesmo procedimento para os restantes tipos. Este é o caso de “*Timber construction manual*” (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008) onde se dá um relevo excessivo às variantes dos porticados pilar-viga.

As diversas abordagens de classificação de sistemas construtivos que foram encontradas nas fontes consultadas podem dividir-se nos seguintes sete grupos:

- a) As classificações simples limitam-se a nomear tipos específicos (Kolb, 2008), ou reduzem os tipos a duas situações básicas (Schierle, 2006), como quando por exemplo, se recorre a uma divisão fundamental entre sistemas “*heavy timber*” e “*grid structures*”;
- b) O critério da geometria e forma da estrutura (McLuhan, 1976) é levado ao limite nos casos em que se propõe a divisão em dois grupos: “*beam-shaped*” (elementos lineares) e “*panel-shaped*” (elementos planos) (Affentranger, 2005) ou “*mass structures*” (estruturas maciças) e “*frame structures*” (estruturas reticuladas) (Smith, Prefab Architecture: a guide to modular design and construction, 2011);
- c) O critério do comportamento estrutural, evidencia o tipo de esforço característico. Em “*Diseño estructural en madera*” (Rodríguez Nevado, 1999) é proposta uma classificação sistemática dos tipos estruturais em madeira aplicando critérios de classe em função dos esforços típicos (esforço normal; flexão pura, flexão simples, flexão composta). O autor reconhece, no entanto, que não existe suficiente univocidade na classificação obtida uma vez que existem tipos compostos de outros tipos do mesmo nível;

d) O critério peso, apresenta as soluções estruturais segundo as duas variantes básicas" (McMorrough, 2006): 1) "wood light framing" e 2) "heavy timbers" (Hopkin, 2011), ou "heavy timber construction" (construção pesada em madeira) e "light timber frame" (reticulados leves de madeira). Esta é a distinção básica encontrada em muitos outros textos (Alread & Leslie, 2007) (Roselló, 2001), (Watson, Crosbie, & Callender, 1999), (Allen & Iano, 2008), (Metha, Scarborough, & Armpriest, 2011);

e) O critério do processo, diferencia o grau de industrialização (Fleming, 2005), subdividindo os tipos de paredes tipo "timber frame construction" em "traditional timber frame" e "modern timber frame". Noutros casos (Lopes, 2006) apresenta-se uma classificação que tipifica as estruturas com base em critérios diferenciados, mas com ênfase no processo, distinguindo assim "tecnologia tradicional" e "estruturas pré-fabricadas" (além de "estrutura leve" e "estrutura porticada");

f) O critério dimensão dos elementos, distingue dentro de um mesmo tipo a dimensão e consequentemente também o grau de pré-fabricação dos componentes. Encontram-se subdivisões do "timber frame panel system", em função da dimensão dos painéis: "micro-panel wall system" e "macro-panel wall system" (Premrov, 2008);

g) Por fim, o critério material, segundo o qual, depois de uma primeira classificação, por exemplo através do critério peso (Hopkin, 2011): "heavy timber frame" e "light timber frame", são distinguidas entre as estruturas formadas por secções de madeira maciça e as estruturas realizadas com recurso a "compostos de madeira".

Analisando sete fontes seleccionadas em português confirmam-se as observações já efectuadas em relação à literatura internacional. Deve realçar-se que neste caso: a ambiguidade entre os "reticulados leves" e os "painéis leves reticulados" se mantém e se omitem alguns sistemas.

Na tese "Sistemas construtivos modernos em madeira" (Torres, 2010) recorre-se à seguinte classificação: 1) casas de troncos; 2) madeira pesada; 3) madeira leve; 4) pré-fabricados à base de módulos. A tese "Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal" (Almeida, 2010) classifica os sistemas de construção de madeira para habitação em: 1) construção maciça; 2) pilar-viga; 3) Sistema aligeirado em plataforma (*light framing*). Na tese "Viabilidade técnico-económica de construções de madeira em Portugal" (Ferreira, 2009) consideram-se os seguintes sistemas construtivos em madeira: 1) painéis maciços de fachada; 2) painéis de madeira; 3) toros de madeira. Na tese "Construção em madeira - Exigências para a certificação energética" (Jerónimo, 2009) apresentam-se: 1) prumos leves; 2) madeira maciça (toros); 3) madeira estrutural (Incluindo-se, tanto as soluções de elementos lineares como de painéis). Em "Sistemas de construção - III" (Mascarenhas, 2006) apresentam-se três tipos de sistemas de paredes: 1) toros quadrados; 2) pranchas maciças; 3) paredes com caixa-de-ar (com base no sistema porticado).

Em "Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal" (Morgado & Pedro, 2011) distinguem-se: 1) toros de madeira; 2) aligeirados (incorporando ou não painéis leves); 3) painéis maciços; 4) porticados; 5) sistemas mistos de painéis e pilares. Finalmente, em "Projectar em madeira: Uma nova abordagem" (Mello, 2007) a classificação é a seguinte: 1) estruturas hierarquizadas (porticadas); 2) nervuradas; 3) painéis e 4) tridimensionais. A diversidade destas apresentações justifica a necessidade de encontrar uma proposta com uma classificação baseada em classes, critérios e designações mais coerentes e abrangentes.

#### 2.1.2.3 CLASSIFICAÇÃO

Na classificação proposta entendeu-se que os elementos que mais eficazmente caracterizam um sistema construtivo e um tipo estrutural são os verticais. Estes, uma vez escolhidos pelo projectista condicionam a compartimentação do espaço, o resultado estético e as restantes definições técnicas. Elaborou-se a distinção entre estruturas de reticulados, porticadas, paredes e painéis. "Reticulados" são estruturas que formam planos definidos por componentes lineares verticais e horizontais, com vazios entre si, montados em obra.

"Porticados" são estruturas de pórticos formadas por componentes lineares pilar-viga, montados em obra. "Paredes" são planos contínuos, formados por componentes lineares ou blocos, montados em obra. "Painéis" são planos contínuos, formado por componentes planos pré-fabricados, prontos a instalar em obra.

Para efeitos de hierarquização distinguiu-se entre componentes lineares, planos e tridimensionais, conforme foi observado em diversos autores (Thanoon, Peng, Kadir, Jaafar, & Salit, 2003). Esta classificação surge em "Components and systems" (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008), onde são utilizadas as seguintes expressões: "timber frame systems", "timber panel building methods" e "room module systems". Adicionalmente considerou-se o critério peso pela sua importância do ponto de vista do transporte, da produção e do processo de construção (Thanoon, Peng, Kadir, Jaafar, & Salit, 2003), permitindo depois um segundo grau de diferenciação. Assim, consideraram-se como sendo estruturas leves aquelas que são constituídas por componentes de reduzida secção integrando vazios ou materiais de isolamento, em oposição às estruturas pesadas em que os componentes têm uma secção maior ou não integram vazios. Finalmente, tal como adoptado por outros autores (Mello, 2007) (Silva & Ino, 2008) utilizaram-se as distinções relativamente ao processo que permitem estabelecer hierarquias de pré-fabricação

Avançou-se para uma proposta de classificação (Tabela 9) com base na geometria e peso relativo dos elementos de construção estabelecendo quatro divisões. A primeira consiste em identificar as características formais dos elementos do tipo estrutural (lineares, planos, tridimensionais ou mistos).

A segunda divisão consiste em distinguir entre tipos leves e pesados através de um critério que não é rígido mas permite diferenciar a massa relativa dos elementos de cada tipo. O peso é uma característica importante na medida em que condiciona o transporte e a montagem na obra. É este critério que permite diferenciar os tipos em vários tipos genéricos: elementos lineares leves, elementos lineares pesados, elementos planos leves, elementos planos pesados, elementos espaciais leves, elementos espaciais pesados.

A terceira divisão procura identificar os tipos específicos mais comuns e de utilização generalizada no mercado. Estes tipos remetem para realidades cujos componentes e lógicas, admitem já uma grande coerência de princípios e de características formais, mas admite ainda alguma amplitude de variantes.

A quarta divisão estabelece os tipos específicos mais significativos encontrados, cujas lógicas assumem uma já reduzida possibilidade de variantes. De modo a simplificar a classificação, foram consideradas as características dos componentes estruturais colocados em obra e montados sem adição de componentes de contraventamento, isolamentos e revestimentos.

Tabela 9 - Proposta de classificação - Geometria e peso relativo dos elementos de construção.

GEOMETRIA	PESO	TIPO GENÉRICO	TIPO ESPECÍFICO
1. Tipos de elementos lineares (Reticulados e Porticados)	1.1. Elementos lineares leves	1.1.1. Reticulados leves	1.1.1.1. Reticulados leves tipo <i>"platform frame"</i>
			1.1.1.2. Reticulados leves tipo <i>"advanced framing"</i>
			1.1.1.3. Reticulados leves tipo <i>"balloon frame"</i>
			1.1.1.4. Reticulados leves tipo <i>"braced framing"</i>
	1.2. Elementos lineares pesados	1.2.1 Porticados	1.2.1.1. Porticados de pilar-viga
			1.2.1.2. Porticados de pórticos paralelos
			1.2.1.3. Porticados tradicionais <i>"timber frame"</i>
			1.2.1.4. Porticados de estacas <i>"pole construction"</i>
			1.2.1.5. Porticados de postes verticais <i>"post frame"</i>
			1.2.1.6. Porticados tipo <i>"plank and beam"</i>
		1.2.2. Reticulados pesados	1.2.2.1. Reticulados pesados tradicionais
2. Tipos de elementos planos (Painéis e Paredes)	2.1. Elementos planos leves	2.1.1. Paredes leves	2.1.1.1. Paredes leves de blocos
			2.1.1.2. Paredes leves de pranchas e montantes
		2.1.2. Painéis leves	2.1.2.1. Painéis leves reticulados
			2.1.2.2. Painéis leves alveolares compactos
			2.1.2.3. Painéis leves alveolares tipo caixa
			2.1.2.4. Painéis leves tipo sanduiche
	2.2. Elementos planos pesados	2.2.1. Paredes pesadas	2.2.1.1. Paredes pesadas de toros serrados
			2.2.1.2. Paredes pesadas de toros redondos
			2.2.1.3. Paredes pesadas de toros verticais
			2.2.1.4. Paredes pesadas de blocos maciços
		2.2.2. Painéis pesados	2.2.2.1. Painéis pesados de lamelados cruzados colados
			2.2.2.2. Painéis pesados de lamelados cruzados não colados
			2.2.2.3. Painéis pesados de lamelados paralelos
			2.2.2.4. Painéis pesados de derivados de madeira
3. Tipos de elementos tridimensionais (Módulos)	3.1. Elementos espaciais leves	3.1.1. Módulos tridimensionais parciais	3.1.1.1. Módulos parciais de porticados (1.2.1.)
			3.1.1.2. Módulos parciais de painéis leves (2.1.2.)
			3.1.1.3. Módulos parciais de painéis pesados (2.2.2.)
			3.1.1.4. Módulos parciais de sistemas mistos leves (4.1.1.)
			3.1.1.5. Módulos parciais de sistemas mistos pesados (4.2.1.)
	3.2. Elementos espaciais pesados	3.2.1. Módulos tridimensionais completos	3.2.1.1. Módulos completos de porticados (1.2.1.)
			3.2.1.2. Módulos completos de painéis leves (2.1.2.)
			3.2.1.3. Módulos completos de painéis pesados (2.2.2.)
			3.2.1.4. Módulos completos de sistemas mistos leves (4.1.1.)
			3.2.1.5. Módulos completos de sistemas mistos pesados (4.2.1.)
4. Tipos de elementos mistos	4.1. Mistos leves	4.1.1. Sistemas mistos leves	4.1.1.1. Sistemas mistos de reticulados leves + outro(s)
			4.1.1.2. Sistemas mistos de paredes leves + outro(s)
			4.1.1.3. Sistemas mistos de painéis leves + outro(s)
	4.2. Mistos pesados	4.2.1. Sistemas mistos pesados	4.2.1.1. Sistemas mistos de porticados + outro(s)
			4.2.1.2. Sistemas mistos de paredes pesadas + outro(s)
			4.2.1.3. Sistemas mistos de painéis pesados + outro(s)

#### 2.1.2.4 ALTERNATIVA DE CLASSIFICAÇÃO

A segunda proposta de classificação (Tabela 10) tem por base o tipo de unidades conceptuais de projecto. Distingue-se entre "greilha estrutural de pilares", "compartimentação estrutural de paredes", "agregação de módulos espaciais" e "definição de soluções integrais". No segundo nível manteve-se o critério do nível de pré-fabricação devido à sua importância para as decisões de projecto.

A terceira proposta de classificação (Tabela 11) é constituída com base no maior ou menor grau de pré-fabricação dos produtos colocados em obra. Estabelece-se uma primeira divisão entre tipos de componentes, elementos e módulos seguida de uma segunda divisão mais específica. Adaptaram-se os princípios de montagem em obra formulados por Kolb (2008): 1)

Pequenos componentes (componentes básicos) com um grau de pré-fabricação reduzida ou média, que montados em obra e agregados com outros formalizam elementos (e.g. toros, prumos, blocos). 2) Elementos (componentes completos) instalados em obra, ou seja unidades funcionais de um edifício (e.g. parede exterior, pilar); 3) Módulos espaciais constituídos por elementos com grau de pré-fabricação elevado ou integral, instalados em obra (e.g. módulo de quarto). Os tipos mistos serão classificados de acordo com o tipo genérico principal que os caracterizam.

Tabela 10 - Proposta alternativa de classificação segundo as unidades de projecto.

Unidade de Projecto	Nível de Prefabricação	Tipo genérico
<b>1. Grelha estrutural de pilares</b>	Prefabricação média/ elevada	1.2.1 Porticados
<b>2. Compartimentação estrutural de paredes</b>	Processos tradicionais	1.2.2. Reticulados pesados
	Prefabricação reduzida/ média	1.1.1. Reticulados leves;
		2.1.1. Paredes leves;
		2.2.1. Paredes pesadas
<b>3. Agregação de módulos espaciais</b>	Prefabricação elevada	2.1.2. Painéis leves ;
		2.2.2. Painéis pesados
<b>4. Definição de soluções integrais</b>	Elementos espaciais leves	3.1.1. Módulos tridimensionais parciais
	Elementos espaciais pesados	3.2.1. Módulos tridimensionais completos

Tabela 11 - Proposta alternativa de classificação segundo o grau de pré-fabricação.

Processo	Nível de Prefabricação	Tipo genérico
<b>1. Tipos de componentes pré-fabricados</b>	Processos tradicionais	1.2.2. Reticulados pesados
	Prefabricação reduzida/ média	1.1.1. Reticulados leves;
		2.1.1. Paredes leves;
		2.2.1. Paredes pesadas
<b>2. Tipos de elementos pré-fabricados</b>	Prefabricação média/ elevada	1.2.1 Porticados
	Prefabricação elevada	2.1.2. Painéis leves ;
		2.2.2. Painéis pesados
<b>3. Tipos de módulos pré-fabricados</b>	Prefabricação elevada/ integral	3.1.1. Módulos tridimensionais parciais
	Prefabricação integral	3.2.1. Módulos tridimensionais completos

Pode-se ainda acrescentar informação que auxilia a caracterização de cada tipo, associando a cada componente completo a natureza da operação de produção e o lugar onde em princípio ocorre a operação.

Tabela 12 - Proposta alternativa de classificação segundo a operação de montagem dos componentes em obra.

Tipo de componente completo	Natureza da operação de produção do componente completo	Lugar da operação de produção
1.2.2. Reticulados pesados	Unidade linear + Unidade Linear	Obra
1.1.1. Reticulados leves	Unidade linear + Unidade Linear	Obra
2.1.1. Paredes leves	Unidade linear + Unidade linear ou Bloco+ Bloco	Obra
2.2.1. Paredes pesadas	Unidade linear + Unidade linear ou Bloco+ Bloco (maciços)	Obra
1.2.1. Porticados	Unidade linear + Unidade Linear	Obra
2.1.2. Painéis leves	Unidade linear+ Unidade linear Unidade plana + Unidade linear Unidade plana + Unidade plana	Fábrica
2.2.2. Painéis pesados	Unidade linear + Unidade linear	Fábrica
3.1.1. Módulos tridimensionais parciais	Unidade plana + Unidade plana ou Unidade linear + Unidade plana	Fábrica
3.2.1. Módulos tridimensionais completos	Unidade plana + Unidade plana ou Unidade plana + Unidade linear ou Unidade modular + Unidade modular	Fábrica

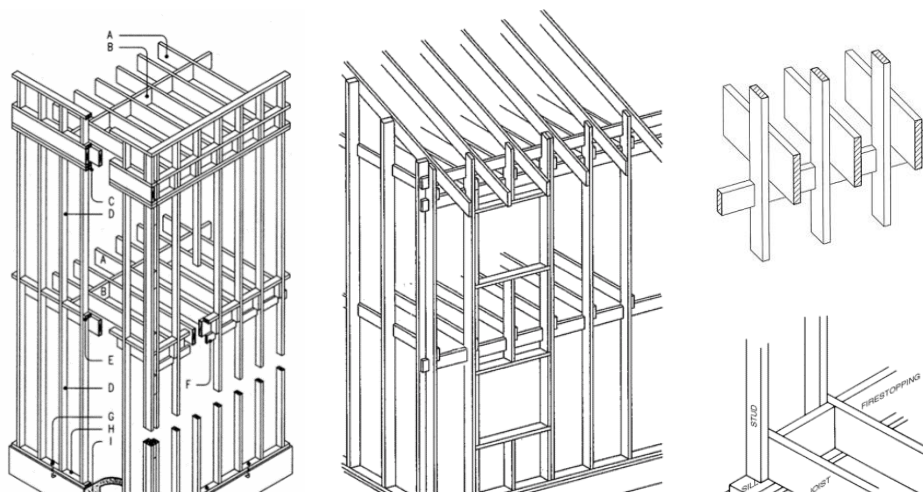


Fig. 183 - Reticulados leves "balloon frame" (Deplazes, 2005a) (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008) (Watson, Crosbie, & Callender, 1999).

#### 2.1.2.5 RETICULADOS LEVES

Os reticulados leves são tipos em que a estrutura vertical é constituída por planos reticulados formados por componentes lineares leves de reduzida secção em madeira maciça, com vazios entre si, montados em obra. O tipo específico dominante é o "reticulado leve do tipo *platform frame*". Encontram-se principalmente expressões como "*wood frame*", "*light framing*", "*timber frame*", "*frame construction*", "*light framing*", "*timber stud*", "*ossature légère*" e "*entramado ligero*".

Adoptou-se a expressão "reticulado" utilizada pelo LNEC (LNEC, 2012) nas informações sobre os Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG)" (EOTA, 2001) como tradução de "*timber frame*". Preferiu-se esta expressão a outras possibilidades como "sistema de prumos leves" (Jerónimo, 2009), "gaiolas leves" (Mendonça, 2005), "estrutura leve" (Lopes, 2006), "estruturas nervuradas" (Mello, 2007), "entramado" (Valle, 2011), "armação ligeira" (Asensio, 2005), "paredes com montantes" (Ching & Adams, Técnicas de construção ilustradas, 2001). Para os tipos específicos decidiu-se manter as designações originais em língua inglesa, já que outras traduções encontradas (Mendonça, 2005) (Roselló, 2001) pareceram forçadas.

##### **Enquadramento - Reticulados leves**

Os reticulados leves tiveram origem nos EUA, assistindo-se a diversos desenvolvimentos baseados no "*balloon frame*" culminando em diversas interpretações do tipo "*platform frame*". Na Europa encontram-se outros nomes como "*timber stud*" (Kolb, 2008, p. 61), "*rib construction*" (Steiger, Timber construction, 2007) ou "*ripenbau*" que colocam a ênfase no componente básico do tipo. Entre os países Europeus, este tipo só foi plenamente aceite a partir da década de 1980, no âmbito da procura de soluções com um preços mais razoáveis que os sistemas correntes (Steiger, Timber construction, 2007). Nos EUA e no Canadá, devido à sua continuada tradição e experiência os reticulados leves utilizam-se com normalidade, desde o século XIX, para construir não só habitações unifamiliares, mas também edifícios de vários pisos, situação que ocorre menos na Europa.

As diversas variantes do tipo têm em comum as características dos componentes que são montantes e travessas de secções reduzidas formando planos de paredes instalados sobre



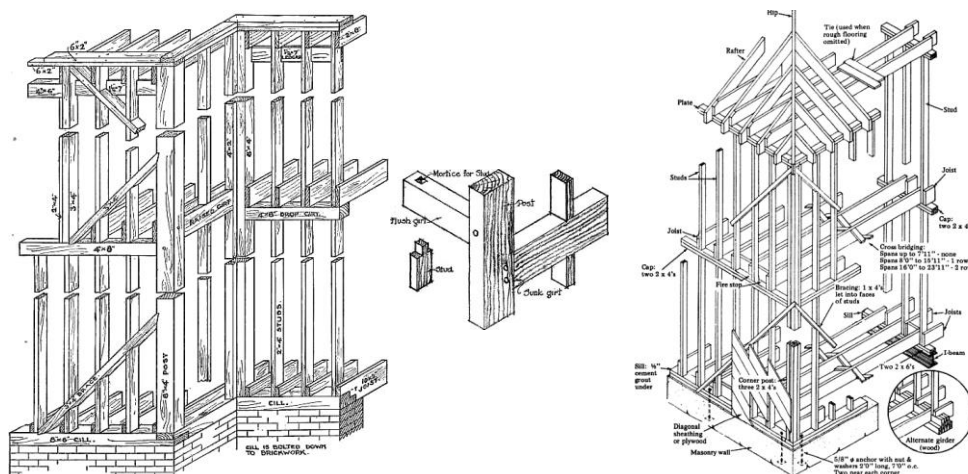


Fig. 184 - Reticulados leves “braced frame” e “modern braced frame”. Note-se as secções do pilar de canto, da travessa de pavimento e da travessa de topo no primeiro sistema e a uniformidade de secções no segundo (Jones, 1986) .

muros de fundação ou lajes de soleira. As ligações entre componentes são efectuados a topo e pregadas ou aparafusadas segundo uma direcção diagonal. Os montantes são ligados às travessas de pavimento com espaçamentos de reduzidas dimensões entre si, sendo estes vazios aproveitados para o preenchimento com isolamento térmico. Sobre estes montantes é pregada uma travessa de topo. O travamento da estrutura era em grande parte efectuado por perfis de revestimento, sendo norma actualmente utilizar placas de derivados de madeira. Para melhorar a resistência a esforços horizontais, por vezes, introduzem-se elementos diagonais em ligação com os prumos de canto e as travessas de pavimento. A estrutura é sempre revestida pelo exterior e pelo interior.

Os reticulados leves tipo “balloon frame” (cf. Figura 183) consistiam originalmente num conjunto de painéis formados por montantes de dimensões standard de 2”x4” (dimensão real de 1-1/2”x3-1/2”) ligados através de pregagem às travessas de base e topo, com revestimentos de perfis de madeira dispostos geralmente na horizontal. Neste tipo os montantes dos planos de parede atravessam os vários pisos da construção. Os componentes horizontais, ou seja as travessas de base e de topo (*bottom plates* e *head binders*) formam as terminações inferiores e superiores. As vigotas dos pisos são suportadas por uma vigota (*binder*) horizontal apoiado em entalhes executados nos montantes verticais (Kolb, 2008, p. 60). Outros tipos de reticulados leves menos utilizados, mas muito semelhantes surgiram ao longo da história do apuramento destes sistemas sob designações como “braced frame” (Classic EB, 2012) ou “early braced frame” e “modern braced frame”, (Jones, 1986). As diferenças consistem essencialmente nas secções dos componentes utilizadas (mais pesados no *braced frame*) e nos pormenores das ligações entre os montantes e as travessas de pavimento e de topo (cf. Figuras 184).

Os reticulados leves tipo “platform frame” (cf. Figura 185), (também chamados “western frame” (Roy, 2004) são uma evolução do tipo anterior, distinguindo-se por um mais elevado nível de pré-fabricação e pela não continuidade dos montantes entre pisos (cf. Figura 183). As secções dos componentes evoluíram em alguns contextos para dimensões de aproximadamente 5cmx20cm (Deplazes, 2005a) ou 6cmx12cm (Steiger, Timber construction, 2007). A evolução para este tipo deu-se para evitar os riscos de propagação de incêndio entre pisos (associados à continuidade entre elementos estruturais) e para reduzir os custos relacionados com os montantes de grande comprimento exigidos no “balloon frame”. A obra

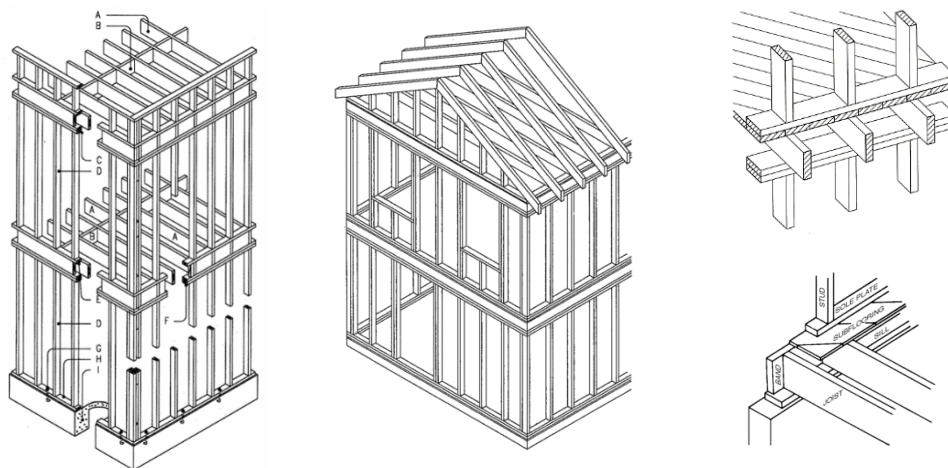


Fig. 185 - Reticulados leves "platform frame". Cobertura plana, cobertura inclinada, pormenores do piso intermédio, pormenores do pavimento térreo sobre paredes de betão (Schierle, 2006) (Deplazes, 2005a) (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008) (Watson, Crosbie, & Callender, 1999).

tornava-se mais praticável com componentes menores, proporcionando ainda uma plataforma de construção assim que se terminava o segundo piso.

Assistiu-se recentemente nos EUA a uma evolução do tipo "platform frame", designado por Optimum Value Engineering ou Advanced Framing (cf. Figura 186), levada a cabo pela National Association of Home Builders (NAHB) cujo objectivo consiste em reduzir a quantidade de madeira numa construção com base em cálculos estruturais e disposições construtivas que permitem eliminar alguns aspectos considerados redundantes do tipo tradicional. Argumenta-se que deste modo se reduzem os custos e ao mesmo tempo se consegue melhorar o comportamento térmico porque a madeira que é eliminada é substituída por isolamento térmico (Wing, 2009).

#### Características - Reticulados leves

O tipo de reticulados leves com montagem em obra apresenta um reduzido grau de industrialização exigindo mão-de-obra intensa (Kolb, 2008, p. 61) podendo no entanto prever-se graus intermédios de pré fabricação (Bignon & Critt-Crai, 2003). Uma vez que as operações de pregagem ou aparafusamento são simples, os trabalhadores não precisam de ter um elevado grau de especialização. Por este motivo, os custos são reduzidos comparativamente com outros tipos que exigem maiores conhecimentos específicos (Bignon & Critt-Crai, 2003).

Os reticulados leves são tipos muito divulgados e adaptáveis a todos os meios e tipologias de obra, apresentando também grande flexibilidade construtiva (Bignon & Critt-Crai, 2003), ou seja as soluções de improviso são sempre possíveis (abrir um vão, alterar uma dimensão, etc.). O seu sobredimensionamento (ou redundância estrutural) proporcionam um grau de liberdade ao nível do projecto, na disposição espacial e no posicionamento dos vãos na fachada. Esta característica no entanto conduz a um consumo de material excessivo em relação ao que seria racionalmente necessário (Deplazes, 2005a). As formas e os modos de expressão arquitectónica não encontram neste tipo grandes limitações (Bignon & Critt-Crai, 2003) por se estar perante um tipo estrutural revestido, ou seja, por não haver uma associação directa entre os aspectos estéticos e construtivos (Viljakainen, 2003).

Uma das vantagens apontadas ainda hoje ao tipo "balloon frame", dá-se quando há necessidade de intervenções de reabilitação, permitindo haver ajustes nas cotas dos pavimentos, com recolocação das vigotas a níveis diferentes do inicial. Esta característica

facilita a conversão de edifícios bifamiliares (frequentes em tipos “*balloon frame*” nos EUA) em unifamiliares, tirando-se partido de pés direitos duplos fáceis de obter (Elliott, 2007).

Embora o “*balloon frame*” pareça um tipo com interesse meramente histórico, há opiniões que o consideram um tipo avançado para o seu tempo e que reúne hoje ainda inúmeras possibilidades que devem ser ponderadas na escolha de um tipo estrutural (Hereford, 2009). Actualmente o acesso a guias para manobrar os componentes está mais generalizado, eliminando o problema da montagem dos componentes de grande dimensão. Há ainda a vantagem de uma menor retracção global da construção que resulta da não interrupção dos elementos estruturais com as fibras dispostas na vertical.

A firma de Arquitectura Misra Architect Ltd de Vancouver, por exemplo, escolheu este tipo num dos seus projectos para evitar os 3/8” (0,95cm) de retracção por piso a que a construção em “*platform frame*” fica sujeita (Architectural Record, 2014). A possibilidade de pré-fabricar elementos de fachada recorrendo a placas de OSB com 8’x24” e elementos estruturais em LVL e LSL, com introdução de elementos bloqueadores do fogo pelo interior do painel, abre campo a um desenvolvimento deste tipo para o universo dos painéis (Hereford, 2009).

#### **Projecto - Reticulados leves**

No tipo de reticulados leves, o projecto pode obedecer a uma grelha conceptual relacionada com o módulo adoptado no espaçamento entre montantes. Esta é uma medida de economia, sem vantagens estruturais ou estéticas (Steiger, 2007) mas permite conceber o projecto com base no princípio de compatibilidade entre componentes estruturais normalizados (prumos e placas principalmente).

Nos reticulados leves tipo “*platform frame*” os pavimentos térreos podem ser executados em madeira ou em betão, mas os restantes pavimentos são sempre em madeira recorrendo a vigotas maciças ou de derivados de madeira. Os elementos estruturais são montados piso a piso, criando-se plataformas sucessivas que são utilizadas como plano de trabalho durante a obra.

A montagem dos painéis reticulados que materializam as paredes podem ser realizada no pavimento, sendo estes depois montados sobre as travessas de soleira. As paredes exteriores são estruturais, podendo as interiores cumprir apenas funções de compartimentação, diferenciando-se das estruturais essencialmente pelas exigências de segurança contra incêndio que condicionam a escolha do isolamento e os materiais de revestimento. Os prumos obedecem a uma secção que pode variar, dependendo normalmente da maior dimensão da secção da espessura do isolamento térmico utilizado. As secções comuns são de 38mmx89mm (2”x4” nominais) ou 38mmx140mm (2”x6” nominais) para os montantes exteriores que podem ser de madeira maciça, Glulam ou LVL. O espaçamento entre estes componentes, tem variado entre os 30cm, 35cm, 40cm e 60cm (CMHC, 2013a) (Roy, 2004), consoante as exigências estruturais e de conforto. Com os prumos de maiores secções que são actualmente comuns, adoptam-se normalmente os 60cm. Geralmente, nos encontros entre paredes estes prumos são duplicados.

Para as vigotas de pavimento podem ser utilizadas vigotas entre 38cmx140cm a 38cmx286cm, afastadas entre 30cm a 60cm. As placas de revestimento estrutural da parede têm cerca de 120cmx240cm, podendo ser de partículas (OSB), contraplacados ou de fibras (American Wood Council, 2001). Sobre a estrutura de vigotas dos pavimentos fixam-se em geral placas que recebem depois o revestimento final de desgaste.

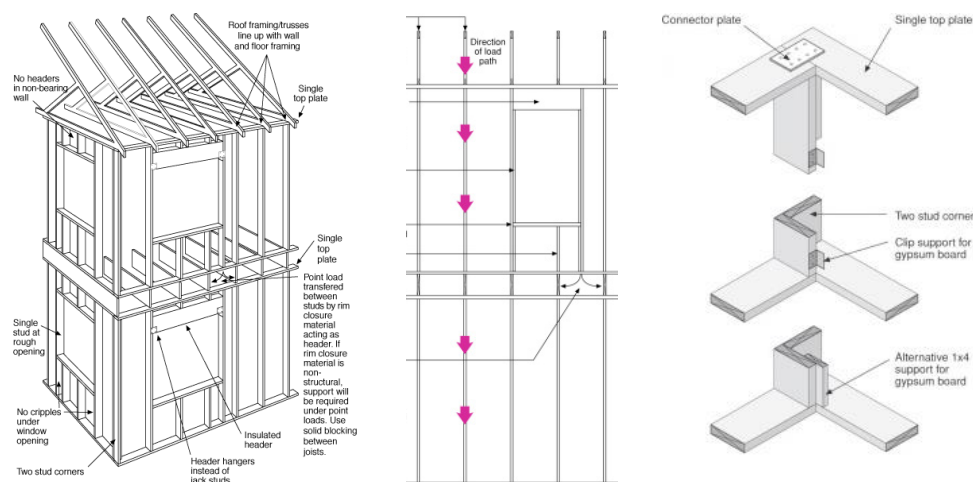


Fig. 186 - Reticulados leves "Advanced Framing" ou "Optimum Value Engineering" (<http://www.energyvanguard.com/blog-building-science-HERS-BPI/bid/59284/Guest-Post-The-Fatal-Flaw-in-Advanced-Framing-Part-1>) (<http://buildingscience.com/documents/information-sheets/information-sheet-common-advanced-framing-details>).

Na cobertura utilizam-se estruturas que podem assumir também diversas formas (asas ou vigotas), normalmente espaçadas cerca de 60cm, sobre as quais se instala também um forro em placas de contraplacado ou de OSB. O desenvolvimento do projecto deve ter em conta o tipo, direcção e a dimensão dos componentes de pavimento porque irão condicionar as definições espaciais (vãos espaciais dos compartimentos).

A definição eventual de varandas e balanços é limitada, podendo condicionar a Arquitectura. O planeamento dos caminhos das infraestruturas deve retirar partido dos vazios existentes nos componentes. As membranas e isolamentos devem ser coordenadas com as características do tipo estrutural (Viljakainen, 2003).

#### 2.1.2.6 PORTICADOS

Os porticados são tipos em que a estrutura vertical é constituída por um conjunto de componentes lineares pesados (pilares) montados em obra. O tipo mais simples é o "porticado de pilar viga", distinguindo-se depois: os "porticados de pórticos paralelos" em que viga e pilar formam uma unidade estrutural (Calil Junior & Brito, 2010); os "porticados tipo *timber frame*" com ligações tradicionais de encaixe e escoras; os "porticados de estacas tipo *pole construction*" com pilares cravados no solo; os "porticados de postes verticais tipo *post frame*", com pilares travados por travessas (American Institute of Timber Construction, 2012); e os "porticados tipo *plank and beam*" (Watson, Crosbie, & Callender, 1999), com um sistema auxiliar de pavimento em pranchas.

Os porticados são incluídos em geral em categorias nomeadas como "*heavy timber*", "*skeleton construction*", "*ossature bois*", sendo designados em particular como "*timber frame*", "*frame construction*", "*post and beam*", "*post frame*", "*poteaux et poutres*". Para designar este tipo adoptou-se a expressão "porticados" (Lopes, 2006) (Grohe, 2001) em vez de "armação pesada" (Asensio, 2005), "entramados pesados" (Peraza Sánchez, et al., 1995) (Roselló, 2001), "entramados" (Fritz Durán, 2004), "estrutura em madeira pesada" (Torres, 2010), "estruturas hierarquizadas" (Mello, 2007), ou "esqueleto" (César, 2002).

#### Enquadramento - Porticados

Deplazes (2005a) considera que os porticados são "a mais delicada forma de construção em madeira". Este tipo é escolhido muitas vezes com o objectivo de obter uma expressão arquitectónica da estrutura, sendo então necessário uma escolha muito criteriosa dos componentes e das ligações (Bignon & Critt-Crai, 2003). Para além dos porticados de pilar

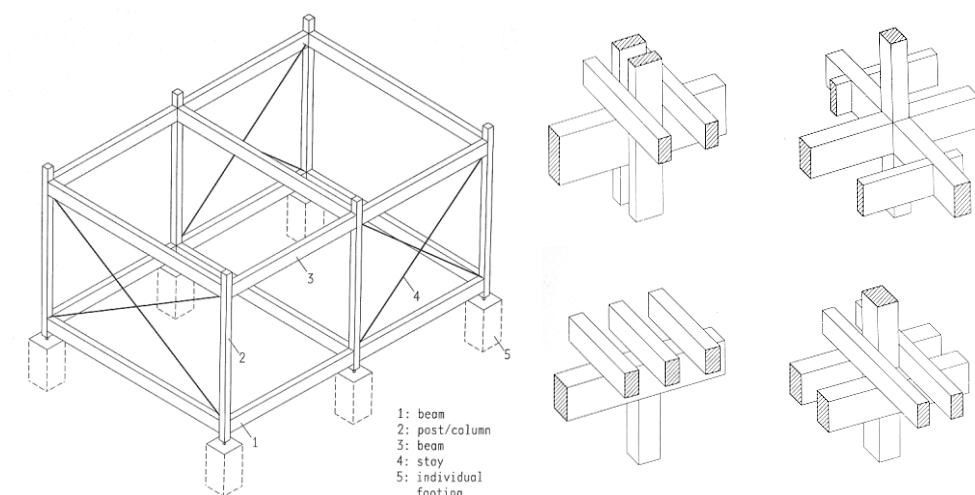


Fig. 187 - Porticados de pilar viga com quatro variações: Pilares e vigas secundárias duplicadas, Vigas contra pilar, Viga sobre pilar, Pilar contínuo e vigas primárias e secundárias duplicadas (Steiger, 2007).

viga e dos porticados de pórticos paralelos, os outros tipos porticados referidos (*timber frame*, *pole construction*, *post frame* e *plank and beam*) são de reduzida utilização na Europa. O tipo de porticados tradicionais tipo “*timber frame*” assistiu a um renascimento de interesse na década de 1970 nos EUA (Brungraber & DeStefano, 2005) e também no Reino Unido (neste caso com pórticos ogivais) onde diversas empresas se especializaram na construção de casas com estrutura de madeira de Carvalho.

Nos porticados de pilar viga e de pórticos paralelos, os componentes da construção são os pilares e as vigas que podem ser em madeira maciça ou lamelada e as ligações podem ser executadas com encaixes ou ligações metálicas (parafusos e chapas) à vista ou ocultas. Os critérios formais e económicos determinam o tipo específico de porticado a escolher. A escolha da madeira lamelada justifica-se quando são necessários vãos maiores ou quando existem exigências adicionais para componentes deixados à vista (Kolb, 2008, p. 87).

Ao contrário dos tipos de reticulados, de paredes e de painéis, as cargas não se distribuem linearmente no plano dos pavimentos, sendo neste caso concentradas, com vãos que normalmente atingem os 5 metros. Para a resistência às acções do vento que geram forças horizontais exige-se a introdução de dispositivos que condicionam o projecto de Arquitectura. A rigidez da estrutura pode ser obtida mediante: tirantes horizontais e diagonais, (montados no plano vertical e/ou no plano horizontal), travessas de base, painéis de parede entre pilares, ou núcleos maciços (de betão ou de alvenaria), como as caixas de escadas. Só num sistema de nós rígidos, do qual é exemplo a “casa japonesa tradicional” (Peraza Sánchez, et al., 1995) se pode prescindir das medidas de travamento referidas.

A estrutura primária de pilares e vigas suporta uma estrutura secundária de vigotas de madeira ou componentes planos pré-fabricados que por sua vez suportam os pavimentos. Os pilares são posicionados normalmente de forma independente das paredes da envolvente (para o interior), ou integrados nela. A localização da estrutura de forma integrada na fachada comporta inconvenientes: gera pontes térmicas, exige mais juntas e selagens e origina problemas de compatibilidade de comportamentos higrotérmicos entre componentes estruturais e não estruturais (Kolb, 2008, p. 108) A colocação da estrutura antes do isolamento térmico (“*warm side*”), ou seja para o interior em relação ao ambiente exterior tem vantagens por evitar os problemas referidos. Os porticados de madeira são acompanhados

frequentemente de painéis de reticulados leves ou de painéis leves tipo sanduiche com a função de fechamento espacial e compartimentação.

No caso dos porticados tradicionais “*timber frame*”, o espaçamento entre os pilares varia normalmente entre 1,80m e 3,00m. Para a montagem e fabrico de construções com este tipo, se se pretender uma abordagem mais purista, recorre-se preferencialmente a serrações e carpinteiros locais. As ligações entre componentes só pontualmente são efectuadas com ligadores mecânicos, sendo a maioria das ligações do tipo mecha e respiga, meia madeira, cauda de andorinha, entre outros tipos, reforçadas com cavilhas de madeira. O preenchimento dos vãos estruturais pode ser realizado com painéis no exterior da estrutura ou com alvenarias entre os pilares. Os componentes de construção têm secções normalmente superiores a 14cmx14cm (5-1/2”) (Canadian Wood Council, 2014). Os pilares podem variar entre 15cmx15cm e 20cmx20cm (6”x6” e 8”x8”) e são ligados a frechais que se desenvolvem ao longo de todo o perímetro da construção (Roy, 2004). Para resistir aos esforços laterais, são previstas escoras entre os pilares e o contrafrechal ou as vigas. A cobertura é constituída normalmente por vigas inclinadas, travadas por um componente de nível, ou por pilares intermédios não sendo normalmente utilizadas asnas (Roy, 2004).

Os porticados “*post frame*” são utilizados para habitação, mas associam-se normalmente para tipos funcionais que exigem maiores vãos. Habitualmente os pilares são localizados apenas nas duas faces opostas do vão menor da construção com espaçamentos superiores a 2,4m (8’) e com vãos interiores que podem chegar aos 30m (100’) quando se trata de usos industriais. Os pilares podem ser tratados e embebidos em betão para formar a fundação ou podem ser montados apenas sobre os muretes de fundação. A estrutura é reforçada com travessas horizontais na ligação dos pilares com 5cmx10cm (2”x4”). A resistência aos esforços horizontais é resolvido através dos revestimentos. As secções dos pilares variam entre 15cmx15cm (6”x6”) e 20cmx25cm (8”x10”) (Wood Works, 2012).

Os porticados “*pole construction*” são constituídos por pilares de secção circular entre 12,5cm e 15cm (5” e 6”) de diâmetro cravados no solo entre 120cm a 300cm (4’e 10’), dependendo dos balanços da cobertura e das condições do terreno. Os restantes elementos de construção recorrem aos típicos componentes de madeira de 3,8cmx0,95cm (2”x4”), 5cmx15cm ou 5cmx20cm, aparafusados e pregados. Os revestimentos podem ser realizados com painéis de contraplacado (Wolfe, 2008).

Os porticados “*plank and beam*” são um tipo em que se obtém o travamento da estrutura com base em pranchas de pavimento ou de cobertura com 5cm (2”) de espessura. Estas são aplicadas sobre vigas de pavimento ou cobertura que terão espaçamento entre si até 2,4m (8’). Neste tipo não há vigas secundárias e as pranchas servem muitas vezes de forro de tecto. Os pilares terão no mínimo 10cmx10cm (4’x4’) (American Wood Council, 2003).

#### **Características - Porticados**

A grande diferença entre as estruturas porticadas e outros tipos é a independência entre o tipo da estrutura, o tipo da envolvente e o tipo da compartimentação. Esta característica, não torna os porticados muito económicos em termos de consumo de materiais (Deplazes, 2005a) mas permite uma grande flexibilidade no desenho espacial dos espaços interiores e no desenho da fachada, possibilitando janelas e portas mais amplas (Deplazes, 2005a) (Kolb, 2008) (Bignon & Critt-Crai, 2003). É um tipo adequado para situações formais mais arrojadas e com maior luminosidade, sendo os componentes de madeira normalmente dispositivos estruturais e ao mesmo tempo arquitectónicos, frequentemente deixados à vista.

Os porticados de pilar-viga são associados a soluções de “alta gama”, com um preço mais elevado que os tipos de reticulados leves, de paredes de toros e de reticulados tradicionais (Bignon & Critt-Crai, 2003). São considerados um tipo exigente nos detalhes construtivos, havendo necessidade de um projecto de Engenharia e uma produção mais qualificadas (Bignon & Critt-Crai, 2003) do que outros tipos que contemplam processos de projecto prescritivos. Kolb refere que as estruturas porticadas com módulos maiores consomem mais madeira, mas têm um custo global menor (Kolb, 2008, p. 90) Na base deste argumento está o custo global dos sistemas construtivos de madeira que são grandemente influenciados pelo número de ligações e juntas exigidos pelo projecto.

Os porticados, pela flexibilidade espacial que proporcionam são adequados a programas em que se prevê reutilizações futuras do espaço. Do ponto de vista da concepção arquitectónica, normalmente é definida uma grelha regular de implantação pontual de pilares e uma grelha tridimensional de pórticos. A adopção de uma grelha com um módulo constante simplifica o processo e normaliza os componentes. A industrialização dos porticados pode ser conjugada com a pré-fabricação de sistemas de parede, pavimento e cobertura. Os porticados são adequados para edifícios de vários pisos, de espaços amplos e sujeitos a cargas elevadas (Kolb, 2008, p. 108). Sendo um tipo apenas estrutural, não acumula as funções de compartimentação por isso não contempla o suporte de infraestruturas como acontece noutros tipos. Roy (2004) considera que os porticados tradicionais tipo “*timber frame*” são vantajosos em relação aos reticulados leves porque os trabalhos de preenchimento dos vazios entre a estrutura são facilitados e as tolerâncias dimensionais podem ser maiores.

Este tipo pode ter custos elevados devido ao material e ao trabalho envolvido, principalmente se realizado profissionalmente, mas nos EUA, a auto-construção é uma alternativa comumente aceite. Do ponto de vista do trabalho em obra, um edifício de estrutura tipo “*timber frame*” pode requerer apenas duas pessoas para montar a estrutura, embora para a tarefa de erguer os pórticos sejam precisas mais ajudas.

Os porticados do tipo “*post frame*” permitem vãos maiores deixando um espaço interior livre que pode ser muito flexível, no entanto são adequados apenas para perímetros regulares (ou seja, rectangulares). Os porticados do tipo “*pole building*” são dirigidos para o universo da autoconstrução pela sua simplicidade, tal como os reticulados leves. Relativamente aos reticulados leves o trabalho de montagem é menor e menos exigente porque há menos ligação e as peças são maiores. A secção circular dos pilares é vista como vantajosa do ponto de vista estrutural em relação às secções esquadriadas. O facto de os pilares serem enterrados como estacas cumprindo também a função de fundação permite uma maior resistência aos esforços laterais. No entanto esta característica obriga a soluções exigentes de tratamento tendo em vista a durabilidade da estrutura (Wolfe, 2008).

Os porticados “*plank and beam*” têm a vantagem de fornecerem um tipo estrutural com um reduzido número de componentes de construção e de ligações, eliminando a necessidade de recorrer a vigotas de pavimento e cobertura e aos montantes estruturais (dos tipos reticulados leves), reduzindo as operações de pregagem, podendo as pranchas estruturais ser assumidas ao mesmo tempo como revestimento dos tectos. Quando há cargas concentradas superiores ao normal este tipo exige suportes adicionais para as pranchas que visam suportar apenas cargas médias. As paredes de compartimentação interiores devem também ser colocadas sobre vigas exigindo-se estruturas adicionais para situações em que tal não ocorra (American Wood Council, 2003).



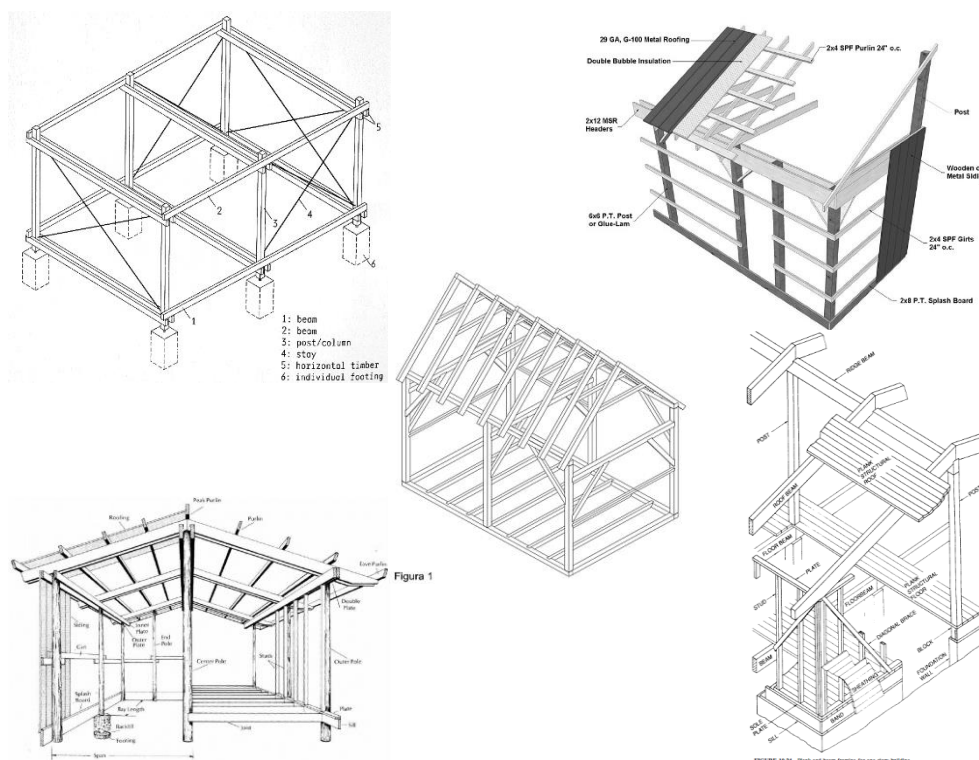


Fig. 188 - Vários tipos de porticados: de pórticos paralelos, tradicionais "timber frame", de estacas "pole construction", de postes verticais "post frame" e tipo "plank and beam" (Steiger, 2007) (Peraza Sánchez, et al., 1995) (Wolfe, 2008) (<http://www.barntoolbox.com/images/Post-Frame-lr.jpg>) (Merrit & Ricketts, 2000).

### Projecto - Porticados

Os critérios de decisão para a definição da grelha estrutural dos porticados são baseados nas condicionantes fixadas pelo programa, pelo orçamento, pelo contexto (perímetro de implantação) e pelas opções arquitectónicas. Assim, a dimensão do edifício, as dimensões dos compartimentos, a disposição do interior, as exigências de uso, o tamanho do lote, a implantação permitida, o design da fachada determinarão as dimensões escolhidas (Kolb, 2008). Kolb (2008, p. 90) refere que a escolha de dimensões testadas com por exemplo 5,00mx5,00m e outras que garantam a conformidade com componentes normalizados de painéis e revestimentos e com o espaçamento usual entre vigotas de pavimento.

Enquanto para Kolb os vãos convencionais adequados aos formatos normalizados de painéis de forro e de revestimento são de 5,00m (variando na habitação entre 4,00m a 6,00m), para outros autores, a grelha recomendada deverá ter entre 3,00mx3,00m e 4,80mx4,80m (Bignon & Critt-Crai, 2003). As dimensões da grelha estrutural condicionarão o dimensionamento da estrutura, o tipo de ligações entre componentes (pillar-viga), o planeamento das juntas e o planeamento dos trabalhos em obra (Kolb, 2008, p. 90). Na escolha da dimensão dos vãos deve ser dada atenção ao comprimento crítico de encurvadura (*critical buckling lenght*) e aos detalhes das ligações onde surgem esforços de compressão na perpendicular às fibras da madeira.

Segundo Kolb (2008, p. 93), para uma grelha de 5,00mx5,00m, as vigas principais de perímetro terão uma dimensão de 12cmx40cm ou 20cmx32cm; as vigas secundárias terão 12cmx48cm, 20cmx40cm, ou 24cmx36cm. As vigotas de pavimento com um vão de 5 metros terão um espaçamento entre si de 125cm, com secções de 12cmx32cm, ou de 16cmx28cm; ou espaçamentos de 62,5m, com secções de 10cmx24cm ou 14cmx22cm. Os diferentes tipos de soluções possíveis no tipo porticado dependem da configuração dos pilares e das



vigas e das respectivas ligações. A escolha do tipo de construção depende das exigências de Arquitectura, da grelha estrutural e das cargas a suportar. Será então mais apropriado escolher primeiro a grelha, determinando-se as dimensões preliminares para a estrutura primária e depois então seleccionar o tipo de construção resultante.

Quanto ao tipo de ligações entre pilar e viga, os cinco tipos mais comuns de variantes são: dupla viga; duplo pilar; pilar sobre viga; viga contra pilar; viga entalhada no pilar (Kolb, 2008, p. 94). No caso de se utilizarem ligações metálicas, deve-se ter em atenção as condicionantes de protecção ao fogo que poderão obrigar a utilizar meios de protecção, através da própria madeira ou por outro tipo de materiais, ou ainda por pinturas anti-fogo (Bignon & Critt-Crai, 2003).

O travamento da estrutura é realizado mediante a introdução de tirantes metálicos, painéis de derivados de madeira, escoras de madeira, revestimentos maciços ou componentes de parede e pavimento. A estabilidade da estrutura tridimensional em relação aos esforços horizontais pode ser garantida tanto no plano vertical, como através de uma conjugação do plano horizontal com o vertical, utilizando-se normalmente uma combinação dos dois sistemas. Se apenas os painéis verticais contribuem para a estabilidade da estrutura, todos os eixos longitudinais e verticais devem ser travados impondo-se assim necessariamente limitações espaciais (Bignon & Critt-Crai, 2003) (Kolb, 2008, p. 106).

A utilização de paredes opacas deve ser racionalizada tendo em conta o seu potencial de aproveitamento como planos de travamento da estrutura. A escolha de uma estrutura porticada à vista irá requerer cuidados não só nas escolhas do material, preferindo-se secções sem medula<sup>115</sup>, podendo adoptar-se outras medidas como a realização de sulcos anti retracção ou recorrendo-se a componentes de menor espessura ligados entre si, bem como a componentes estruturais de derivados de madeira como os lamelados colados (Bignon & Critt-Crai, 2003). Os projectos dos restantes tipos estruturais de porticados (*“timber frame”*, *“pole construction”*, *“post frame”* e *“plank and beam”*) obedecem a requisitos específicos previstos nos manuais prescritivos.

#### 2.1.2.7 RETICULADOS PESADOS

São tipos em que a estrutura vertical é constituída por planos reticulados, formados por componentes lineares de grande e média secção em madeira maciça, com vazios entre si, montados em obra (cf. Figura 189). O interesse destas estruturas remete-se sobretudo para a área da reabilitação, embora se assista a algum revivalismo na Europa central.

É um tipo que tem muitas variantes regionais que tem cabimento serem exploradas no âmbito da história da Arquitectura, pelo que se denominou genericamente este tipo como “reticulado pesado tradicional”. As ligações entre componentes são executadas através de juntas de encaixe tipo macho-fêmea e cavilhas. Surgem em categorias designadas como *“heavy timber”* (CSI - Construction Specifications Institute, 2005) e *“entramados pesados”* (Peraza Sánchez, et al., 1995), sendo utilizadas designações específicas como *“timber frame”* (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008) (Kolb, 2008) (Deplazes, Constructing architecture, materials processes structures, a handbook, 2005a), *“half timbering”* (Affentranger, 2005) (German Timber, 2006) e *“colombage”* (Bignon & Critt-Crai, 2003) (Valle, 2011) (Benoit & Paradis, 2008). Em português encontra-se, entre outras expressões, *“taipas estruturais - gaiola”* (Lopes, 2006) e *“entramado tradicional”* (Valle, 2011). Adoptou-se a expressão “reticulados

<sup>115</sup> As exigências da classe de qualidade prescrita no projecto pode mesmo impedir a presença de medula.

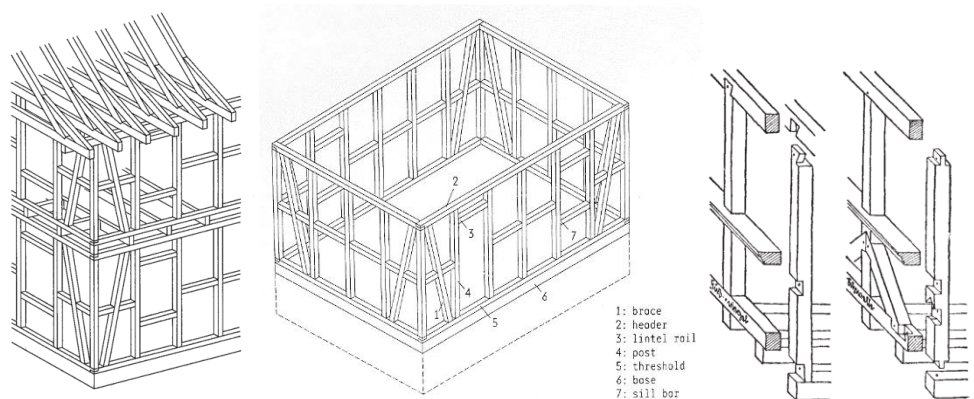


Fig. 189 - Reticulados pesados tradicionais (Deplazes, 2005a) (Steiger, 2007) (Gemer, 2007).

pesados tradicionais”, já que a expressão “tradicional” aponta directamente para o seu interesse histórico.

### Enquadramento - Reticulados pesados

Apesar do interesse principalmente histórico dos reticulados pesados existem casos pontuais de clientes de habitações unifamiliares interessados em abordagens revivalistas especialmente nas regiões onde estes tipos têm uma raiz cultural. Em França, nas regiões onde a tradição dos reticulados pesados é importante, como na Alsácia e na Normandia, assiste-se de novo à construção com este tipo, beneficiando da presença de carpinteiros especializados na reabilitação e que estão aptos a construir soluções de raiz (Provost, 2010). Kolb (Kolb, 2008, p. 55), aludindo ao contexto da Europa central, refere que precisamente por ainda existirem carpinteiros com conhecimentos das técnicas tradicionais, em situações de edifícios utilitários os reticulados tradicionais podem ainda ser uma solução económica.

Por outro lado, se forem utilizados equipamentos de fabrico e montagem rigorosa ou controlada por computador, a execução fica facilitada e comparando os custos das ligações em madeira em relação aos das ligações metálicas, a viabilidade económica dos reticulados pesados pode ser uma realidade. Embora Deplazes (2005a), refira que este é um tipo que apresenta alguma fragilidade devido aos encaixes nas ligações entre componentes Kolb (2008, p. 55) considera que estando os componentes estruturais tão próximos uns dos outros, os esforços nessas ligações são pouco significativos.

Os componentes de madeira estrutural, prumos (*studs*), escoras (*braces*) e travessas (*rails*) são em geral de secção quadrada, as ligações são realizadas com encaixes do tipo mecha e respiga, podendo ser necessárias juntas oblíquas do tipo cauda de andorinha. As dimensões das secções utilizadas têm normalmente 10cmx10cm, 12cmx12cm ou 14cmx14cm (Steiger, 2007), sendo a dimensão dos espaços entre prumos verticais usualmente variável entre 80cm (Kolb, 2008, p. 57), 100cm e 120cm (Steiger, 2007). Estas dimensões não constituem regras generalizáveis (Steiger, 2007), assistindo-se a zonas em que os vãos são muito superiores.

Os componentes verticais e oblíquos ligam-se a um frechal e a um contrafrechal e sobre este último são montadas as vigas de pavimento que frequentemente são visíveis pelo exterior. Os materiais de revestimento e preenchimento tradicionalmente permanecem visíveis no exterior embora ocorram soluções de revestimento integral nos planos exteriores e interiores. Os produtos utilizados para este fim variam de região para região: argamassa estruturada, terra, alvenarias (de pedra ou tijolo) ou madeira (Provost, 2010). Os vários componentes formam um conjunto rígido que integra tanto as paredes exteriores como as interiores. Os elementos

de preenchimento em princípio não desempenham funções estruturais, podendo ser actualmente substituídos por isolamentos.

#### **Características - Reticulados pesados**

Os reticulados pesados são associados a uma imagem arquitectónica regionalista (Bignon & Critt-Crai, 2003), mas com flexibilidade construtiva<sup>116</sup> (Bignon & Critt-Crai, 2003). Pressupõem uma montagem simples (Kolb, 2008, p. 55) nos edifícios pequenos, tornando-se pouco económicos para edifícios de vários pisos. Resulta segundo Bignon e Critt-Crai (Bignon & Critt-Crai, 2003) num tipo estrutural de custos elevados em comparação com outros tipos (Provost, 2010) porque as secções utilizadas nos componentes não são obtidas de uma análise estrutural, mas de regras transmitidas pela experiência (Deplazes, 2005a). Por outro lado, as ligações do tipo encaixe fragilizam a estrutura exigindo por isso maiores secções (Bignon & Critt-Crai, 2003).

As estruturas históricas que ainda hoje existem demonstram a segurança dos reticulados pesados para construções em altura (Kolb, 2008, p. 55), tendo-se chegado aos 7 pisos na Alemanha. Apesar de ser um tipo relativamente rápido de montar, é mais moroso que os tipos de paredes pesadas de toros e que os tipos de reticulados leves (Provost, 2010). É um tipo em que as juntas entre os componentes estruturais e o material de preenchimento são críticos e onde a passagem das infraestruturas não é simples de resolver (Bignon & Critt-Crai, 2003).

#### **Projecto - Reticulados pesados**

Nos reticulados pesados actuais, para obter ligações mais estáveis, utilizam-se normalmente pregos e ocasionalmente parafusos ou outro tipo de ligadores metálicos (Kolb, 2008, p. 55), eliminando aquela que é uma das características distintivas do tipo (as ligações de encaixe). O afastamento normal dos prumos pode ser reduzido mediante colocação de prumos intermédios em zonas onde se concentrem cargas maiores. Estes prumos estruturais são utilizados também como ombreiras de portas e janelas. A travessa de topo ou contrafrechal tem a função de manter os prumos na sua posição e finaliza a parede suportando as vigas do pavimento superior transferindo as forças das suas cargas para os prumos inferiores (Kolb, 2008, p. 57).

Devido à inclusão de componentes horizontais (frechal e contrafrechal), uma estrutura em reticulados pesados exhibe uma elevada retracção dimensional (Steiger, 2007). Os movimentos de retracção e dilatação da madeira nas direcções radial e tangencial são 10 a 20 vezes maiores que na direcção longitudinal, pelo que o valor da retracção dos componentes horizontais (frechal, travessa de topo e vigas de pavimento) nas direcções tangencial e radial tem uma grande influência na tolerância dimensional a considerar. A tolerância dimensional corresponde à diferença entre a altura da parede de reticulado tradicional na altura da construção e a sua altura depois dos componentes se ajustarem ao nível de humidade de equilíbrio. Quanto mais elevado o conteúdo de humidade na madeira durante a construção, mais elevado deverá ser a tolerância dimensional a considerar. Quando se usa madeira insuficientemente seca, a redução das tolerâncias dimensionais a considerar pode ser tentada a partir de tipos de construção com menos componentes horizontais. A forma mais segura de lidar com as tolerâncias dimensionais, evitando deformações, consiste em construir com madeira convenientemente seca.

---

<sup>116</sup> Por flexibilidade construtiva deverá entender-se a possibilidade de alterar os esquemas tipificados pela tradição.

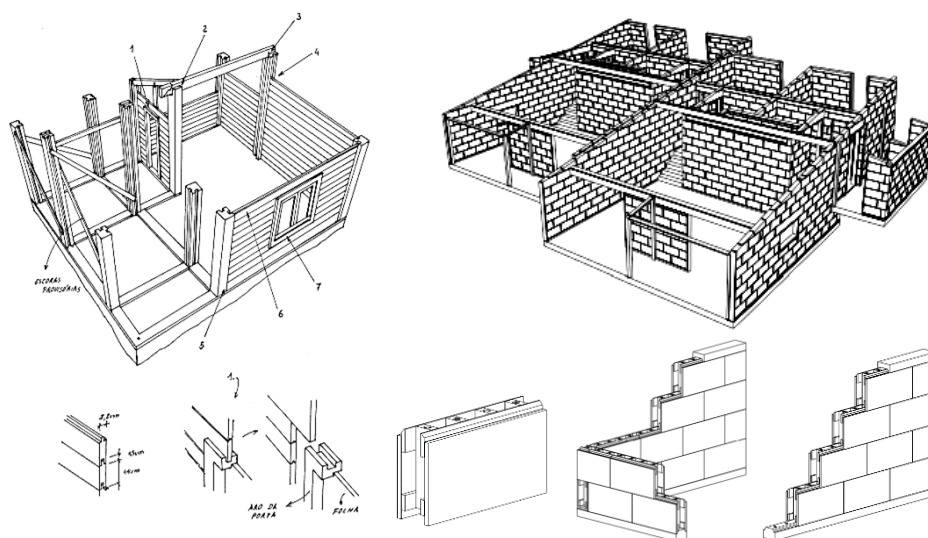


Fig. 190 - Tipos de paredes leves de pranchas e montantes (Mascarenhas, 2006) e paredes leves de blocos (Steko®) ([http://www.steko.ch/fileadmin/ablage/dokumente/steko\\_systembeschreibung-francais.pdf](http://www.steko.ch/fileadmin/ablage/dokumente/steko_systembeschreibung-francais.pdf)).

#### 2.1.2.8 PAREDES LEVES

Os tipos de paredes leves são aqueles em que a estrutura vertical é constituída por paredes contínuas, formadas por componentes lineares ou blocos leves, sem vazios no plano vertical, que são montados em obra (cf. Figura 190). Apresentam-se duas variantes, as “paredes leves de blocos” em que o componente básico são blocos de madeira (tipo tijolo) com vazios no seu interior (em secção horizontal) e as “paredes leves de pranchas e montantes” em que pranchas maciças são encaixadas entre pilares verticais, constituindo painéis de parede resistentes com uma caixa de ar. Para o primeiro tipo encontram-se as designações “*timber hollow blocks*” (German Timber, 2006), “*timber modules*” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008) e “*modular building block system*” (Kolb, 2008). Para o segundo as designações mais comuns foram, “sistema de painel” (César, 2002), “parede estrutural em pranchas” (Mello, 2007), “paredes com pranchas maciças” (Mascarenhas, 2006).

##### Enquadramento - Paredes leves

O tipo de paredes leves de pranchas e montantes formando paredes portantes é uma versão aligeirada do tipo de toros. Neste caso os toros são substituídos por pranchas cujo comprimento também é mais reduzido. É um tipo muito divulgado no Brasil e em Portugal. A solução de paredes leves de blocos de madeira, também já introduzido em Portugal, será um desenvolvimento tanto dos tipos de paredes de alvenaria como das paredes de toros de madeira. Os blocos permitem integrar o isolamento térmico, o espaço para as infraestruturas e o revestimento num único componente.

O tipo de paredes leves de pranchas e montantes formando paredes portantes, tem como componentes de base pranchas de madeira maciça de 3cm ou 4,5cm e em certos casos de 7cm de espessura dispostas na horizontal, sobrepostas em camadas sucessivas através de ligações macho-fêmea e ligadas em cada extremidade a montantes (pilares) através dos canais existentes nestes. As madeiras utilizadas são normalmente de folhosas tropicais como a Tatajuba, Grápia, Jatobá, Cumaru ou Maçaranduba. Há no entanto empresas (é o caso da Imowood) que fornecem este tipo com madeira de Espruce (*Picea abies*). Estas ligações não contemplam em princípio elementos mecânicos como pregos ou parafusos, embora possam recorrer a elementos de vedantes para garantir a estanquidade das paredes. O número de ranhuras existentes nos montantes pode variar, dependendo das paredes que a ele se se

associam. As ligações em cada montante podem ser de uma a quatro e as ranhuras em cada face podem ser simples ou duplas conforme recebam paredes exteriores ou interiores (cf. Figura 191).

As paredes exteriores variam segundo os fabricantes, mas podem ter 10,4cm, (Casema, 2006) 11,5cm, ou 17,5cm são formadas por duas pranchas com um espaço que deve ser preenchido com isolamento térmico (César, 2002) (Vaz, 2008), estando sugerido no manual Casema que com a prancha exterior de 4,5cm, a prancha interior seja de 2,2cm de espessura (Casema, 2006). Outros fabricantes obtêm paredes de 17,5cm com dois componentes de 7cm de espessura e 3,5cm de caixa-de-ar (Imowood). No topo das paredes portantes pode ser montado uma viga de frechal, normalmente com 78cmx4,5cm e entre 3,00m a 6,50m de comprimento, destinado a suportar as vigas da cobertura (caibros).

As paredes interiores são montadas com as pranchas de 4,5cm (Casema, 2006). As prumadas ou pilares são constituídos através da junção de dois componentes de secção 6cmx12cm aparafusados e apresentando várias possibilidades de recorte ao longo das superfícies verticais para encaixe das pranchas. O topo dos pilares tem também um encaixe para receber a ligação com as vigas de cobertura e de frechal. Os pilares são ligados às fundações de betão através de um pino de aço. Os pilares para estruturas exteriores (varandas, galerias) têm normalmente 13cmx13cm. No caso específico da empresa Casema, o sistema construtivo prevê cerca de 60 componentes destinados a concretizarem todos os elementos construtivos de uma habitação.

Os blocos de madeira são componentes utilizados para as paredes interiores e exteriores. Com eles obtém-se um tipo sujeito a uma coordenação modular entre elementos, exigindo a compatibilidade entre componentes normalizados como as travessas de pavimento, as travessas de topo, e os pré aros de vãos. A composição da parede deve contar com um revestimento exterior, mas no interior, a parede de madeira pode ser deixada à vista em alternativa ao acabamento com os produtos usuais. A estabilidade dimensional de cada bloco é assegurada pelas diversas camadas de madeira maciça utilizadas.

Os vazios no interior dos blocos permitem continuidade na vertical e na horizontal podendo ser utilizados como caminhos de infraestruturas. Estes vazios podem ser preenchidos com materiais isolantes, reduzindo a necessidade de um maior isolamento no revestimento exterior (Kolb, 2008, p. 134).

Os blocos de madeira Steko<sup>117</sup> são fabricados com madeira de Espruce ou Abeto, sendo os subcomponentes ligados por intermédio de adesivos Purbond, pesando no máximo 6,5kg. A dimensão de base dos blocos é 16cm de espessura, 64cm de comprimento e 32cm ou 24 cm de altura. A madeira dos blocos não tem tratamento e a construção não necessita de membranas pára vapor ou estanques.

#### **Características - Paredes leves**

No tipo de paredes leves de pranchas e montantes destaca-se a leveza dos componentes que podem ser manobrados por uma ou duas pessoas. O tipo estrutural é simples de montar mas exige cuidados especiais devido ao número elevado de juntas que apresenta entre elementos. Devido ao elevado número de componentes, o trabalho em obra é elevado. É um tipo que tem associada uma imagem arquitectónica característica uma vez que as paredes

---

<sup>117</sup> O sistema Steko foi inventado na Suíça pelo professor Anton Steurer e pelo Arquitecto Joseph Kolb.

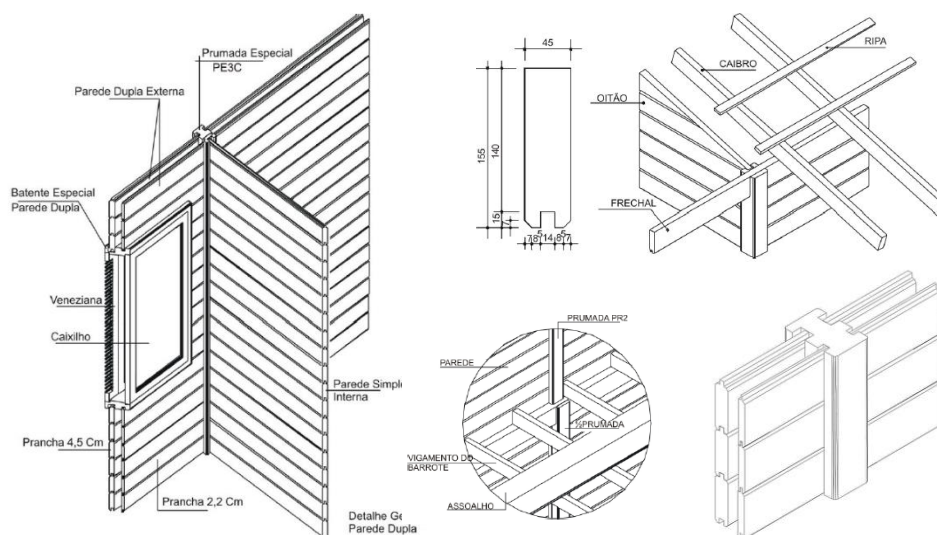


Fig. 191 - Tipos de paredes leves de pranchas e montantes (Manual Casema) (Casema, 2006).

estruturais são deixadas à vista com revestimento em madeira no interior e exterior, não oferecendo por isso uma grande flexibilidade estética (César, 2002).

O tipo de paredes leves de blocos de madeira tendo por base um componente modular de reduzida dimensão, permite grande liberdade de concepção arquitectónica. Uma vez que os blocos são produzidos em grandes quantidades podem ser fornecidos rapidamente em obra após a encomenda, não havendo necessidade de um fabrico específico. Os blocos podem ser montados sem recorrer a equipamentos mecânicos de elevação e sem necessitarem de cola, pregos ou agramos (Steko, 2014). As infraestruturas podem ser instaladas aproveitando os vazios do interior dos blocos que podem também ser preenchidos com isolamento térmico adicional.

### Projecto - Paredes leves

No tipo de paredes leves de pranchas e montantes a concepção do projecto deve adaptar-se às dimensões dos vãos estruturais permitidos entre montantes (que variam normalmente entre um e quatro metros) no sentido de estabelecer uma compatibilidade entre a malha estrutural e a malha espacial. A qualidade dos componentes é especialmente importante porque qualquer empeno nas pranchas pode conduzir a problemas de estanquidade da construção. Pelo mesmo motivo, a execução em obra deve ser especialmente cuidada e controlada.

O Manual Casema (Casema, 2006) chama a atenção para o assentamento que ocorre depois da construção e que é previsto através de dispositivos construtivos, nomeadamente nas zonas dos vãos de portas e janelas. As madeiras tropicais pela sua dureza são montadas com 30% de humidade, pelo que após a construção sofrem a natural retracção. Em cada componente haverá uma retracção entre 1mm a 3 mm, havendo um assentamento vertical nas paredes entre 30mm a 60mm. Os vãos de cobertura podem atingir uma dimensão de 6,50m com vigas de 68mmx240mm e os vãos de pavimento normalmente são limitados aos 4,5m, podendo atingir 7m com o uso de duas vigas (viga dupla) de 45mmx290mm. Nas casas de dois pisos, utilizam-se prumadas adicionais que suportam vigas para apoio das vigas principais de pavimento sobre as quais assenta o soalho.

O tipo de paredes leves de blocos de madeira desenvolvido pela Steko permite utilizar uma grelha conceptual de 16cm na horizontal e 8cm na vertical. A optimização do projecto tendo

em vista a economia de recursos e a redução de resíduos deve contemplar as regras de modulação, podendo ser a construção planificada recorrendo a sistemas de desenho CAD que facilitam depois a ligação com a fábrica. No entanto para soluções singulares, com dimensões não regradas ou com ângulos entre paredes diferentes de 90°, os blocos podem sempre ser serrados. As paredes com módulos de madeira podem ser finalizadas com o sistema “capoto” ou com uma fachada ventilada, podendo o interior ser deixado à vista, ou revestido com placas de gesso cartonado, ou de outro tipo (Steko, 2014). A construção começa com a colocação do componente de soleira ou de base ancorado às fundações, sobre a qual são montados os blocos de forma intercalada como numa alvenaria tradicional. O tipo não contempla componentes específicos de cobertura podendo ser utilizada qualquer solução compatível.

#### 2.1.2.9 PAINÉIS LEVES

São tipos em que a estrutura vertical é constituída por painéis contínuos de componentes planos leves pré-fabricados, sem vazios no plano vertical, prontos a instalar em obra. Apresentam-se quatro variantes (cf. Figura 192): “painéis leves reticulados”, com prumos, travessas e placas de derivado de madeira; “painéis leves alveolares compactos” constituídos por pranchas ou sarrafos ligados (geralmente cruzados), deixando espaços vazios entre si de reduzida dimensão; “painéis leves alveolares do tipo caixa” que aligeiram o peso da estrutura através de vazios de maior dimensão; “painéis leves tipo sanduiche” constituídos por duas placas de derivados de madeira com isolamento térmico entre elas.

O termo genérico para os tipos de painéis leves é “*panel construction*” (Deplazes, 2005a) (German Timber, 2006) (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008) (Neufert & Neufert, 2002), encontrando-se também designações como “*structural panels*” (CSI - Construction Specifications Institute, 2005) e “*timber panel building methods*” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008).

Para os “painéis leves reticulados” encontram-se as expressões “*timber frame*” (Aparicio Jr, 2010) (Premrov, 2008) (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008), com variantes como “*stressed skin panels*” (Allen & Iano, 2008) (CSI - Construction Specifications Institute, 2005). Os “painéis leves alveolares compactos” surgem como “*timber block panels*” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008), “*cross banded spaced plies*” (Kolb, 2008) ou “placas nervadas” (Grohe, 2001).

Os “painéis leves tipo sanduiche” são quase consensualmente designados “*structural insulated panels*” (SIPs) (Allen & Iano, 2008) (Metha, Scarborough, & Armpriest, 2011). Em português encontram-se as seguintes designações para os painéis leves em geral: “painéis compostos” (César, 2002), “painéis portantes” (Mello, 2007), ou mais genericamente “painéis pré-fabricados” (Valle, 2011) (LNEC, 2012).

#### **Enquadramento - Painéis leves**

O tipo de painéis reticulados só se generalizou na Europa nas duas décadas passadas (anos 80 e 90 do século XX), mas as características do tipo foram sendo adaptadas às condições da Europa. O tipo estrutural surge como uma evolução do tipo de reticulados leves montados em obra a partir de componentes básicos. Assim, o designado tipo “*platform frame*” poderá referir-se tanto aos tipos reticulados leves como aos tipos de painéis leves, residindo a diferença principal no processo de fabrico e montagem: tradicional no primeiro caso e industrializado no segundo.



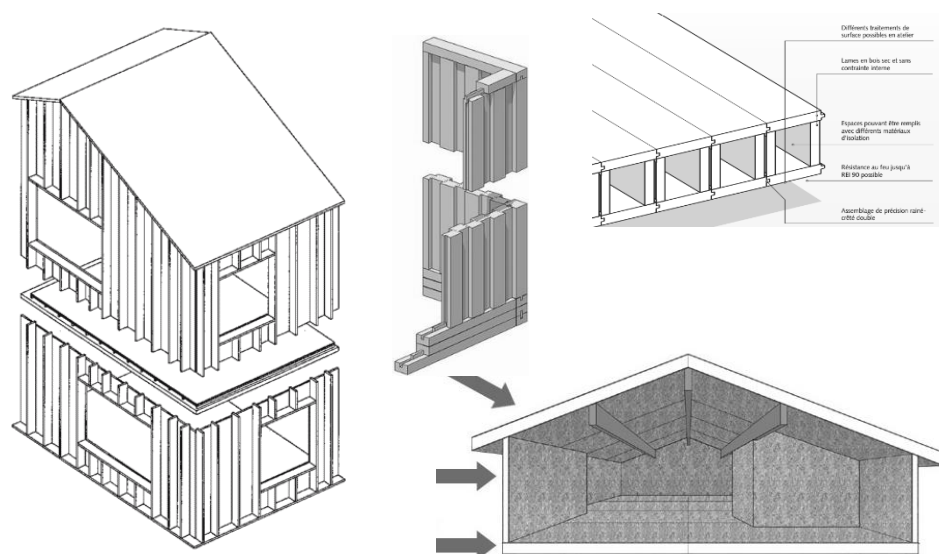


Fig. 192 - Painéis leves: reticulados; leves alveolares compactos (Lignoswiss®); painéis leves alveolares tipo caixa (Lignotrend ®); painéis leves tipo sanduiche (SIPs) (Deplazes, 2005a) (<http://www.holzhaus-schmidlin.ch/content.php?l=1&m=19>) (<http://www.ageka.fr/pdf/lignatur.pdf>) (<https://renaissanceronin.wordpress.com/2009/02/>).

Os painéis leves alveolares compactos surgem associados a várias marcas, entre as quais a Lignotrend que desenvolveu vários painéis inovadores para paredes e pavimento. Os painéis leves alveolares tipo caixa são normalmente utilizados para pavimentos como é o caso do sistema Lignatur, mas os painéis formados com vigas *Wellsteg*, poderão ser utilizadas como elementos de pavimento, cobertura ou parede (Deplazes, 2005a). Os painéis leves alveolares tipo sanduiche (SIPs), muito difundidos nos EUA, são constituídos por duas placas que envolvem um núcleo interior de um material isolante.

No tipo de painéis reticulados o componente de base é uma placa sobre a qual são instalados prumos com espaços entre si preenchidos com isolamento térmico e painéis de derivados de madeira. Segundo Kolb (Kolb, 2008), na perspectiva da Europeia, as secções de prumos com 6cmx12cm<sup>118</sup> são usualmente suficientes do ponto de vista estrutural<sup>119</sup>, mas as camadas de isolamento necessárias actualmente na Europa Central e do Norte superam os 12cm para as paredes exteriores pelo que é comum surgirem painéis com 16cm, 18cm e 20cm, sendo 8cmx16cm uma secção comum na Europa (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008). Os prumos estruturais podem ser de madeira maciça, madeira de duas ou três lamelas, ou Glulam, normalmente de classe C24 e com madeira de Espruce ou Abeto (Kolb, 2008, p. 64) (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008). Há soluções alternativas aos prumos maciços através de vigotas “I-joist” ou de componentes com isolamento térmico integrado (Kolb, 2008, p. 67). Os prumos suportam as cargas verticais e as placas resistem aos esforços horizontais, devendo no entanto ser complementados com as ligações de ancoragem. As placas podem ser em contraplacado folheado, contraplacado triplaca, OSB, MDF, de partículas, ou até de painéis de gesso com fibras de madeira. Tradicionalmente, a placa de forro era utilizada pelo exterior da estrutura de prumos, no entanto uma alternativa válida (segundo Kolb) consiste em colocar as placas pelo interior, pelas suas vantagens em termos de exigências higrotérmicas<sup>120</sup>. A

<sup>118</sup> Com um comprimento de encurvamento crítico de 2750mm

<sup>119</sup> A torção dos prumos no plano das paredes é evitada pelos painéis. Assim, para estes componentes verticais, a compressão e a flexão ao longo do eixo maior são os componentes críticos dos esforços. Acima de 800m do nível do mar devem ser consideradas as cargas da neve. A carga máxima permitida nos painéis de parede estruturais interiores e exteriores é geralmente limitado pelo esforço de compressão perpendicular ao grão nas travessas da base e de topo.

<sup>120</sup> Se a placa estrutural de travamento for colocada no lado exterior do isolamento térmico deve-se ter em consideração a resistência à difusão da barreira pára-vapor. No caso normal da placa estrutural colocada pelo interior, é suficiente uma membrana com baixa resistência à difusão para regular a migração do vapor do interior para o exterior. Em situações especiais



placa estrutural pode acumular deste modo a função das membranas estanque e pára-vapor e do revestimento interior (Kolb, 2008, p. 68).

Para o isolamento térmico podem ser escolhidas diversas variedades como os painéis de fibra mineral, de celulose ou de madeira<sup>121</sup> (Kolb, 2008, p. 64). O transporte e a montagem são auxiliados actualmente por equipamentos de grande eficiência, permitindo aumentar as dimensões dos componentes pré-fabricados relativamente ao passado. Se na cobertura se utilizarem vigotas, o espaçamento entre elas em geral será entre 50 e 70cm, sendo na opinião de Kolb (Kolb, 2008, p. 78) os 62,5cm a dimensão óptima. No caso de pavimentos de habitação submetidos a cargas normais e com vigotas com espaçamentos inferiores a 65cm (usualmente utilizam-se distâncias entre 50 e 65cm), uma placa de partículas de madeira de 2,5cm de espessura ou um revestimento de pranchas de madeira maciça com espessura de 2,2cm será suficiente. Os materiais de revestimento estrutural (painéis, revestimentos) devem cobrir dois vãos de prumos (i.e. apoiar-se em três vigotas). A largura da secção das vigotas pode variar entre 6cm, 8cm, 10cm, 12cm e a altura entre 18cm, 20cm, 22cm, 24cm. Para as placas de forro podem ser escolhidos contraplacados triplaca de 2,7cm, placas OSB de 2,2cm, madeira maciça de 2,2cm e placas de partículas de 2,5m. Os parafusos ligando a travessa da base das paredes exteriores às fundações deverão assegurar a resistência às forças de corte e em parte às de sucção. A resistência às restantes forças de sucção é assegurada pela ancoragem directa dos painéis com ligadores metálicos. (Kolb, 2008, p. 84).

Os painéis leves alveolares compactos numa das versões da empresa Lignotrend, são prefabricados com componentes básicos maciços espaçados e dispostos em camadas paralelas sobre outras perpendiculares com espaços vazios (sulcos) numa das faces e com a face oposta revestida por uma placa. Estes painéis são fornecidos em dimensões normalizadas de 62,5cm de largura. Estão disponíveis vários tipos de acabamentos e superfícies (Deplazes, 2005a).

O tipo de painéis alveolares<sup>122</sup> é realizado a partir de pranchas, sarrafos ou lamelas. As componentes individuais da construção são sujeitas a diferentes acções pelo que o alinhamento e as dimensões verticais e horizontais variam. As unidades individuais são geralmente ligadas por colagem. Os componentes ligados desta forma possuem excelente estabilidade dimensional e podem manter-se esbeltos embora este factor seja dependente das cargas a suportar. A estabilidade é garantida pelos componentes, mas podem ser necessárias placas ou prumos de reforço, dependendo dos fabricantes. Os vazios dos componentes podem ser preenchidos com isolamento térmico ou utilizados para a passagem das infraestruturas (Kolb, 2008, p. 128).

Podem diferenciar-se os painéis alveolares com componentes em pranchas de madeira cruzados dos painéis alveolares com pranchas paralelas. Esta característica contribui para diferenciar o seu comportamento, nomeadamente em relação à retracção e inchamento da madeira que se faz sentir com algum significado nos painéis de pranchas paralelas verticais. Previne-se o encurvamento através de medidas de reforço (malhas, prumos e outros meios) adicionais. As grandes cargas concentradas, transmitidas por exemplo através das vigas de cobertura sujeitas ao peso da neve, podem exigir pilares adicionais. Os elementos

---

como são os compartimentos húmidos e nas junções entre diferentes componentes, as propriedades da membrana devem ser determinadas em separado (Kolb, 2008, p. 69).

<sup>121</sup> A vantagem do isolamento em fibra de madeira reside na sua maior densidade que permite dispensar uma estrutura de suporte com sarrafos (necessária para materiais com menor resistência à compressão) (Kolb, 2008, p. 66).

<sup>122</sup> Kolb (2008, p. 128) inclui os painéis leves alveolares nos sistemas de madeira maciça (solid timber construction) e agrupa os sistemas de tal modo que junta os sistemas alveolares com os sistemas de paredes leves de blocos numa classe que denomina de secções cruzadas compostas (compound cross sections).

interligados de acordo com as instruções dos fabricantes respondem à exigência de resistir às forças horizontais. Meios de travamento adicional não são normalmente necessários (Kolb, 2008, p. 131).

Os painéis leves alveolares tipo caixa de que são exemplo os painéis formados com vigas *Wellsteg* (uma viga com duas abas em pranchas de madeira maciça e uma alma de contraplacado) são agrupadas com outras através de encaixes tipo macho-fêmea. Os vazios interiores têm uma espessura de 16,6cm e uma largura variável. As superfícies de madeira maciça podem ter diversas qualidades de acabamento (Deplazes, 2005a).

Os painéis leves alveolares tipo sanduiche são fabricados através de um núcleo de um material isolante (EPS, XPS, ou outros materiais) que é envolvido por duas placas de derivados de madeira, normalmente OSB. Os painéis estão disponíveis no mercado Americano nas dimensões normalizadas de 120cmx240cm (4'x8'), podendo atingir os 240cmx720cm (8'x24'). As espessuras dos painéis variam entre 4-1/2" e 12-1/4" (APA - The Engineered Wood Association, 2007).

#### **Características - Painéis leves**

O tipo de painéis leves permite uma grande flexibilidade no posicionamento dos vãos na fachada. A montagem é muito rápida, podendo consumir um ou dois dias para uma habitação unifamiliar (Kolb, 2008, p. 62). A flexibilidade do desenho arquitectónico é muito grande uma vez que os painéis podem ser revestidos com uma variedade grande de componentes de derivados de madeira ou de madeira maciça, com o sistema "*capoto*" (isolamento e reboco). O revestimento interior pode ser realizado com placas de derivados de madeira, placas de gesso com fibras ou gesso cartonado. Devido à normalização dos componentes, dimensões modulares, ligações e pormenores de construção é uma solução com vantagens económicas, com uma construção simples e com detalhes muito repetitivos (Kolb, 2008, pp. 63, 64). O tempo de montagem da estrutura para uma habitação unifamiliar comum pode consumir apenas um ou dois dias (Kolb, 2008, p. 62).

Nos **painéis leves alveolares compactos** podem ser utilizados parcialmente os vazios para os caminhos de cabos. A disposição ortogonal dos componentes confere ao painel estabilidade perante variações de humidade (Deplazes, *Constructing architecture, materials processes structures, a handbook*, 2005a).

Também nos **painéis leves alveolares tipo caixa** podem ser utilizados os vazios para caminhos de infraestruturas e para instalação de isolamento térmico, inclusive na direcção transversal que é facilmente perfurada. A relação entre desempenho estrutural e peso é muito favorável, sendo uma solução indicada para pavimentos. A direcção do vão terá que ser a dos componentes longitudinais (Deplazes, 2005a). Os componentes básicos são geralmente ligadas por colagem pelo que possuem excelente estabilidade dimensional podendo manter-se esbeltos embora este factor seja dependente das cargas a suportar (Kolb, 2008, p. 128).

Os **painéis leves alveolares tipo sanduiche** apresentam a vantagem de um isolamento térmico muito eficiente pela sua continuidade ao longo da construção e pela grande espessura quando comparada com outros tipos de painéis. As pontes térmicas são reduzidas por não existirem normalmente prumos com contacto entre a placa interior e a exterior. A utilização de painéis de grandes dimensões (por exemplo 2,40mx7,20m - 8'x24') permite reduzir ao mínimo as juntas de construção que constituem normalmente os pontos fracos destes tipos estruturais. O isolamento térmico é composto de 98% de ar pelo que a quantidade de petróleo utilizado na sua produção não é muito significativa. Quanto ao

processo de montagem, este é caracterizado pela rapidez e por não exigir trabalhadores muito especializados porque os componentes têm um grau de pré-fabricação elevado. Os painéis de 1,20mx2,40m (4'x8') podem ser manobrados à mão mas normalmente os painéis leves alveolares tipo sanduiche requerem equipamentos de elevação mecânica<sup>123</sup>. (APA - The Engineered Wood Association, 2007). Nos EUA o Residencial Building Code contempla um método prescritivo de projecto para os painéis SIP.

#### **Projecto - Paredes leves**

A concepção do projecto com painéis pode recorrer ao auxílio de um módulo de base para o posicionamento dos elementos de construção, mas não necessita de tal, podendo a pré fabricação ser executada especificamente para elementos de grande dimensão como fachadas inteiras. Quando se utilizam regras de modulação, as dimensões preferenciais a utilizar variam entre os 40cm e os 70cm, sendo 62,5cm, segundo os autores já mencionados, a dimensão óptima (Steiger, Timber construction, 2007) (Kolb, 2008, p. 64). A construção é montada piso a piso, tal como sucede no tipo reticulado tipo “*platform frame*”. A produção dos componentes é realizada em fábrica em ambientes protegidos dos elementos do clima que favorecem as condições de trabalho. As ligações entre componentes são efectuadas por contacto directo e com ligações mecânicas (pregos e agrafos). As condições de transporte devem ser verificadas na fase de definição dos componentes devido às limitações que podem impor à dimensão dos painéis (Kolb, 2008, p. 62).

Quando não se utilizam painéis que já incluem o isolamento térmico necessário às exigências de comportamento térmico, ou quando for necessário isolamento adicional, deve-se colocar uma camada adicional e isolamento térmico pelo exterior, independente da estrutura, que poderá ter 4cm, 6cm ou 8cm de espessura. Esta solução tem a vantagem de eliminar as pontes térmicas dos painéis nos pontos em que os prumos contactam as placas (Kolb, 2008, p. 64). Na construção com painéis leves, as tolerâncias dimensionais dependem do número e da dimensão dos componentes horizontais. Estes são sujeitos a retracções e deformações devidas à compressão perpendicular às fibras. Os componentes horizontais como as travessas superiores e inferiores e as vigas podem contabilizar nos painéis entre 24cm a 50cm de material a considerar por piso, pelo que penas a madeira seca (12% de humidade) deve ser utilizada (Kolb, 2008, p. 65).

Em situações específicas de cargas mais elevadas, de vários pisos, de janelas de grande dimensão, ou ainda com a presença de neve, poderão ser necessários painéis com prumos de secções maiores como por exemplo 8cmx12cm em vez dos 6cmx12cm (Kolb, 2008, p. 66). É óbvio que as barreiras estanques e de pára-vapor, seja na forma de membranas ou de painéis, não devem ser perfuradas por infraestruturas, fixações e outros componentes e todas as juntas devem ser seladas (Kolb, 2008, p. 70). Se se utilizarem membranas do tipo barreira pára-vapor (*vapour barrier*), estas devem ser utilizadas do lado quente, ou seja pela face interior do isolamento térmico (Kolb, 2008, p. 66). Para evitar perfurar a membrana pára vapor (se existir), as infraestruturas deverão ser colocadas do lado interior, ou seja do lado quente. Para este fim podem ser utilizados sarrafos de 3cm ou 5cm providenciando uma caixa de ar para os caminhos de cabos (Kolb, 2008, p. 68).

Os painéis leves alveolares compactos da empresa Lignotrend contemplam uma modulação de 12,5m, podendo ser encomendadas ao fabricante, outras dimensões que não as normalizadas. Os painéis leves alveolares tipo caixa contemplam uma modulação que se

---

<sup>123</sup> Um painel de 8'x24' pesa 700 lbs (317,5Kg).

deve referenciar à largura dos componentes de base como por exemplo a das vigas Wellsteg. Os painéis leves alveolares tipo sanduiche (SIPs) são normalmente utilizados para paredes e coberturas, mas podem também ser utilizados nos pavimentos, formando um sistema construtivo integral. O fabrico dos painéis SIP integra normalmente processos que retiram partido das vantagens dos sistemas CAD-CAM e das máquinas de corte CNC. Este processo pode ser importante na concepção de projectos personalizados que não são submetidos à disciplina de uma grelha estrutural.

Para o contexto Americano existe um documento, previsto no International Building Code (IBC), que oferece um método prescritivo, permitindo prescrever soluções com base em tabelas de cargas, no entanto o seu uso é limitado a certas aplicações e condições de vento e de sismo. O uso de infraestruturas pelo interior dos painéis é viável devido à continuidade do material de isolamento, mas transversalmente, os topos dos painéis têm um aro de madeira que deverá ser perfurado. Segundo a APA (APA - The Engineered Wood Association, 2007) lado dos painéis que contacta com o interior da construção deve ser sempre revestido com um material resistente ao fogo durante 15 minutos (como por exemplo as placas de gesso cartonado).

#### 2.1.2.10 PAREDES PESADAS

São tipos em que a estrutura vertical é constituída por paredes contínuas e opacas formadas por componentes lineares montados em obra. Apresentam-se quatro variantes, as “paredes pesadas de toros serrados”, as “paredes pesadas de toros redondos”, as “paredes pesadas de toros verticais” e ainda as “paredes pesadas de blocos maciços”. O grupo genérico das paredes pesadas surge em categorias designadas como “*heavy timber*” (CSI - Construction Specifications Institute, 2005), ou “*mass structures*” (Smith, 2011), ou ainda “*constructions en bois massif*” (Benoit & Paradis, 2008), sendo por vezes incluído nos “*timber panel building methods*” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008). O termo mais encontrado, referindo-se aos toros serrados, é “*log construction*” (Aparicio Jr, 2010) (CSI - Construction Specifications Institute, 2005) (Deplazes, 2005a) (Kolb, 2008) ou “*madriers*”, surgindo também como “*block construction*” (Neufert & Neufert, 2002) (Affentranger, 2005). Em português, a expressão “toros” parece ser a dominante (LNEC, 2012) (Ferreira, 2009) (Almeida, 2010), encontrando-se variantes para os toros redondos como “trancos” (Lopes, 2006) (Torres, 2010) (Santos, 2008). Manteve-se no entanto a designação encontrada na tradução de “*Log building kits*” (EOTA, 2002) para “Kits para edifícios de toros de madeira” (LNEC, 2012).

#### Enquadramento - Paredes pesadas

As paredes pesadas de toros (cf. Figura 193) constituem um tipo visto por alguns autores como fazendo parte da lógica de um determinado contexto físico (regiões montanhosas) e cultural, criticando-se a sua utilização inadequada em lugares que não têm essa tradição construtiva<sup>124</sup> (Kolb, 2008, p. 51). A exigência de troncos com alta qualidade de madeira leva a que este tipo de construção seja dominante em países especialmente ricos em madeira como o Canadá, a Noruega, a Suécia, a Áustria, a Suíça e algumas zonas da Rússia, onde a abundância, o custo de transporte e a tradição local são factores que promovem a sua continuidade como solução (Bejder, 2012). No entanto é possível desenvolver soluções com carácter contemporâneo através da inovação dos aspectos arquitectónicos do tipo. Devidos às exigências de conforto, numerosas evoluções e variantes têm sido desenvolvidas.

<sup>124</sup> O autor fala mesmo em estruturas “aliens” que são construídas sem observar as regras baseadas em séculos de experiência (Kolb, 2008, p. 51)



### **Características - Paredes pesadas**

Para Deplazes (2005a) as paredes pesadas são um tipo que apenas é económico em contextos onde existe a correspondente infraestrutura de apoio (serração) e carpinteiros especializados. Bignon e Critt-Crai consideram este um tipo vocacionado para conjuntos urbanos de baixa densidade, e espaços não urbanos (Bignon & Critt-Crai, 2003), podendo ser sujeito a algumas limitações do ponto de vista do licenciamento em determinadas regiões (Provost, 2010, p. 19). A expressão arquitectónica é associada a um carácter regionalista e existem algumas condicionantes limitadoras, tanto ao nível dos espaços interiores como ao nível da forma em geral (Bignon & Critt-Crai, 2003). Os custos do tipo são elevados pelo preço associado aos componentes e por exigir uma mão-de-obra especializada (Bignon & Critt-Crai, 2003) (Provost, 2010). Há ainda condicionamentos importantes da construção relacionados com a retracção dos toros (Bignon & Critt-Crai, 2003). É um tipo que consome grande quantidade de madeira exigindo uma selecção atenta da madeira (Bignon & Critt-Crai, 2003). Devido a razões construtivas e económicas, a construção em toros com vários pisos é, segundo Kolb (Kolb, 2008, p. 53) “uma solução do passado”.

As paredes pesadas de blocos maciços no contexto dos países com tradição de construção em alvenaria têm a vantagem de ser um processo muito próximo daquele que já tem uma aceitação sociocultural. Pode também configurar-se como alternativa em lugares onde a instalação ou o acesso de gruas e outros equipamentos é difícil. Relativamente aos tipos mais leves, a inércia térmica é apresentada como uma vantagem. Os fabricantes consideram também que é um tipo adequado à auto-construção.

### **Projecto - Paredes pesadas**

Nos tipos de paredes pesadas com toros a estabilidade é assegurada através da resistência das juntas horizontais entre toros o que permite que a madeira actue como um plano, mas também através das juntas entre elementos nos cantos. Os vãos dependem dos componentes mas em geral não ultrapassam os 4,5m. A construção em toros é associada a retracções substanciais agravadas pelas cargas na direcção perpendicular às fibras. Os assentamentos têm que ser tidos em conta nos detalhes de projecto (em especial nas janelas) (Deplazes, 2005a). Devem ser previstas soluções de projecto que contemplem tolerâncias dimensionais que podem ser de 25mm para cada piso. As juntas verticais entre toros e elementos de alvenaria, por exemplo com o bloco da chaminé, devem ser executadas de tal modo que a parede de toros possa assentar livremente. Em redor dos vãos de comunicação (as portas e as janelas) devem utilizar-se prumos com topos livres. As infraestruturas devem ser previstas e instaladas de modo a não serem afectadas pelos assentamentos (Kolb, 2008, p. 51).

A utilização dos blocos maciços de madeira deve ser realizada prevendo as medidas modulares do produto específico utilizado de modo a evitar operações adicionais de corte em obra e o acréscimo dos resíduos. Sob o primeiro nível de blocos que é fixado à base (normalmente em betão) através de aparafusamento e cavilhas de fixação, deve ser prevista uma banda estanque para impedir o acesso da humidade. A passagem das infraestruturas pode ser prevista através do interior dos blocos que têm dois furos (ou um nos blocos menores), efectuados em fábrica. No caso da execução com paredes duplas, os dois planos de parede paralelos são ligados com uma peça específica do sistema, devendo o interior ser preenchido com isolamento térmico. As peças adicionais do sistema que encaixam nos sulcos com ligação em cauda de andorinha permitem também a sua utilização como suporte dos revestimentos exteriores. O projecto deve contabilizar todos os tipos de elementos uma vez

que cada bloco terá os encaixes específicos para a sua posição na obra (Solid Wood Life .sprl & SEAR .sprl, 2010).

#### 2.1.2.11 PAINÉIS PESADOS

Os sistemas de painéis pesados integram uma estrutura vertical constituída por painéis contínuos de elementos planos pesados pré-fabricados prontos a instalar em obra. Apresentam-se cinco variantes: “painéis pesados de lamelados cruzados colados” em que as lamelas de madeira são dispostas em camadas cruzadas e coladas entre si; os “painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados ou pregados” em que a cola é substituída por cavilhas ou pregos e em que podem ser introduzidas camadas de lamelas na diagonal; “painéis pesados de lamelados paralelos” em que as lamelas são dispostas paralelamente, podendo ser coladas, cavilhadas ou pregadas; “painéis pesados de derivados de madeira” em que se juntam várias placas de derivados; “painéis de feixes paralelos” em que se agregam elementos de madeira, com secção de um polígono regular, através de cavilhas.

Os termos mais comuns encontrados para descrever os painéis pesados referem-se ao seu carácter maciço: “*solid timber panels*” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008) (Kolb, 2008), “*solid layered board elements*” (German Timber, 2006), “*solid wood*” (Affentranger, 2005), ou “*panneau de bois massif*” (CNDB, 2012). Em português surgem expressões como “sistemas de painéis maciços de fachada” (Ferreira, 2009), “construção com placas maciças” (César, 2002), “construção maciça” (Almeida, 2010). Para os “painéis pesados de lamelados cruzados colados” encontrou-se “*cross-laminated timber*” (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008); para os “painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados”, “*cross banded and doweled*” (Kolb, 2008); para os “painéis pesados de lamelados cruzados pregados”, “*massive holz mauer*” (Massivholzmauer Entwicklungs GmbH, 2014); para os “painéis pesados de lamelados paralelos”, “*edge fixed element*” (Kolb, 2008); para os “painéis pesados de derivados de madeira”, “*pressed particleboards or OSB*” (Kolb, 2008); e para os “painéis de feixes paralelos”, “*solid wood components from round small-wood boles*” (Mydlarz, 2011).

#### Enquadramento - Painéis pesados

Os painéis pesados, classificados como construção maciça (“solid timber construction”) têm por base um conceito que consiste em agregar um conjunto de subcomponentes de reduzida dimensão para fabricar painéis estruturais bidimensionais de secção maciça (cf. Figura 194). Aproveita-se da melhor maneira a matéria-prima disponível para fabricar um produto que pretende melhorar as qualidades naturais de resistência e comportamento higrotérmico. Por outro lado são painéis cujas características se destacam das características dos tradicionais painéis leves, também pela massa, pela inércia, pelo isolamento e pela versatilidade de uso como parede e laje (em alguns casos).

Estes produtos fazem parte de um mercado relativamente recente, tendo-se iniciado a produção industrializada de painéis de lamelados cruzados colados apenas no final da década de 1990 (na Áustria, Alemanha e Suíça) (Jorge, 2013). Tomando como exemplo o caso da Dinamarca, o interesse no final dos anos 90 pelos painéis de madeira maciça por parte de associações com interesse na exploração da fileira florestal teve por base a ideia de aumentar o consumo de produtos florestais, mas também foi impulsionado pela necessidade de se fazer um maior aproveitamento da madeira Dinamarquesa cuja qualidade era relativamente “pobre” (Bejder, 2012).

O mercado dos produtos de construção apresenta painéis pesados produzidos por diferentes fabricantes, tendo cada um deles características próprias (Kolb, 2008, p. 112). Em geral a



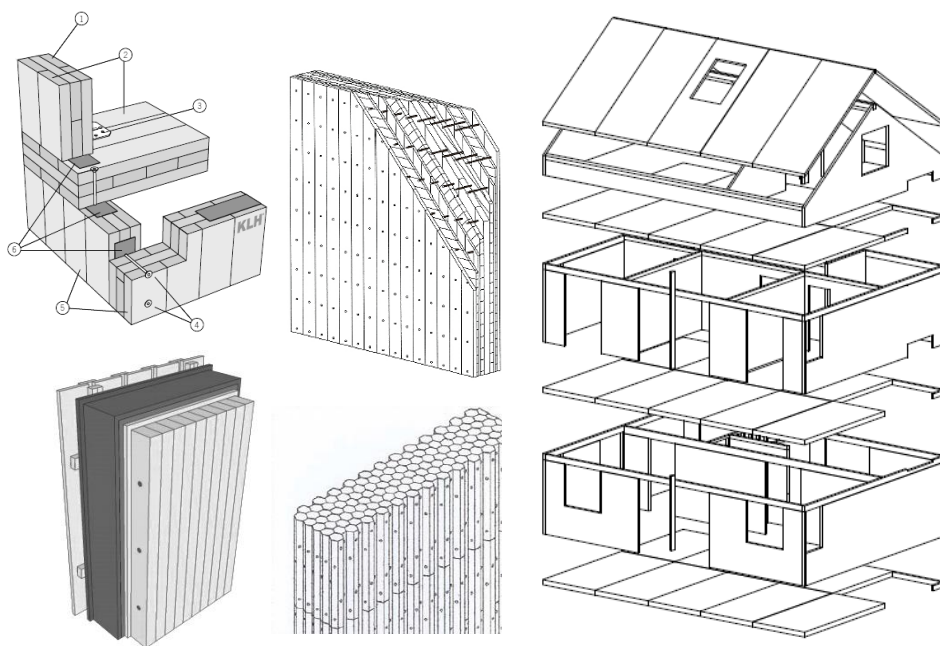


Fig. 194 - Painéis pesados de lamelados cruzados colados, Painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados, Painéis pesados de lamelados paralelos, Painéis de feixes paralelos e exemplo de sistema Bresta® (lamelados paralelos) (<http://www.klhuk.com/downloads.aspx?p=7>) (<http://www.holz100norge.com/>) ([http://www.holz-suttner.de/daten/images/pdf/duebelholzwand\\_datenblatt.pdf](http://www.holz-suttner.de/daten/images/pdf/duebelholzwand_datenblatt.pdf)) (<http://www.atg-bau-energie.com/wp-content/uploads/2011/01/palisadio.pdf>) ([http://www.tschopp-holzbau.ch/w\\_1/site/s\\_page\\_bresta.asp?NID=144&hilite=technischer%20beschreibung](http://www.tschopp-holzbau.ch/w_1/site/s_page_bresta.asp?NID=144&hilite=technischer%20beschreibung)).

distinção entre os diversos tipos faz-se primeiro entre os painéis com componentes cruzados e os painéis com componentes paralelos. Por sua vez, os painéis de derivados de madeira normalmente são utilizados em conjugação com outros componentes, não sendo empregues em geral como sistema autónomo.

Os componentes base são planos destinados a desempenharem não só a função estrutural como a de fechamento em paredes, pavimentos e coberturas. A acção estrutural desenvolve-se no plano do painel. O fabrico dos componentes é feito com madeira maciça colada, cavilhada ou colada, com placas de derivados de madeira (placas de partículas ou de fibras). Os tipos de secções maciças (painéis pesados), podem ser compostos só por uma camada ou por várias camadas e são fabricados na forma de grandes painéis planos com as dimensões parciais dos espaços ou com as dimensões globais de elementos de fachada ou de cobertura. As matérias-primas são em geral as lamelas de madeiras de coníferas (Espruce, Abeto e Pinho) mas em alternativa os painéis de derivados são compostos com partículas ou fibras e com um maior nível de transformação, e também um maior nível de aproveitamento da matéria-prima.

Os painéis de lamelados cruzados colados (*cross laminated timber*, *CLT* ou *X-Lam*) consistem em vários estratos de lamelas colados ortogonalmente em camadas alternadas. Os componentes utilizados são normalmente lamelas de Espruce e Abeto ou outras resinosas com espessuras entre os 2cm e os 4cm. A espessura dos elementos de lamelados cruzados varia entre 5cm e 30cm dependendo dos fabricantes (Kolb, 2008, p. 120). Para além das funções estruturais e de compartimentação podem ser utilizados como revestimento interior. Na versão do fabricante KLH, os painéis têm um comprimento máximo de 13,5m (limitações de transporte) e altura máxima de 2,95m. As espessuras dos painéis dependem das especificações de projecto variando entre 5,7cm (3 estratos) e 25cm (8 estratos) (Jorge, 2013).

Os painéis lamelados cruzados cavilhados consistem em pranchas ou lamelas verticais com 6cm a 8cm de espessura às quais são ligadas pranchas no sentido horizontal e por vezes diagonal de madeira de coníferas de 2cm a 5cm de espessura, cuja ligação é consolidada com cavilhas. Durante o fabrico as cavilhas são inseridas secas (ou com teores de água muito inferiores aos das lamelas, pelo que quando o seu teor de humidade aumenta, equilibrando-se com o das lamelas constituem um ligador muito eficiente (TecWood concept, 2014). Devido ao cruzamento das lamelas e à disposição por vezes diagonal das camadas, estes elementos podem ajudar a travar a estrutura em relação às cargas horizontais (Kolb, 2008, p. 124). Estes componentes são utilizados principalmente para paredes. Os fabricantes não utilizam colas, ligadores metálicos ou outros ligadores produzidos artificialmente no fabrico dos componentes, ou pelo menos tentam reduzi-los ao mínimo.

Também sem a utilização de cola, os painéis lamelados cruzados pregados são constituídos por lamelas com cerca de 2,3cm de espessura de madeira maciça dispostas paralelamente e ligadas através das faces laterais com rebaios formando estratos que são sobrepostos em sentidos ortogonais e ligados sucessivamente através de pregos de alumínio. Os painéis podem ser produzidos em painéis de dimensões normalizadas de 2,0mx2,0m até 3,25mx6,0m com espessuras entre 11,5cm até 34cm. Os painéis são depois cortados à medida segundo os requisitos de cada projecto, recorrendo a equipamentos de corte CNC (Massivholzmauer Entwicklungs GmbH, 2014).

Os painéis de lamelas paralelas (*edge-fixed timber*) são realizados com pranchas colocadas lado a lado, continuamente. As “ligações de entalhes múltiplos” (*“finger-joints”*) no comprimento são possíveis, permitindo fabricar componentes de dimensões maiores. As lamelas têm normalmente uma espessura entre 2cm e 5cm e são ligadas com pregos ou com cavilhas de madeiras duras, criando-se assim um componente homogéneo planar. Os painéis estão disponíveis com várias qualidades de superfícies de acabamento e perfis. A espessura habitual varia entre 8cm e 24cm, dependendo do fabricante (Kolb, 2008, p. 122).

Os painéis pesados de derivados de madeira são realizados a partir de uma ou mais camadas de placas de fibras ou de partículas. O uso de juntas macho-fêmea ou juntas recortadas (*rebated joints*) permite o fabrico de componentes de grande dimensão e com altura de um piso. A espessura normal de placas de partículas, no caso da marca comercial Homogen80 é 8cm. Placas individuais de OSB com 2,5cm de espessura são ligadas para formar componentes maciços com o mínimo de três (7,5cm) e um máximo de dez (25cm). Quando se usam placas de partículas ou OSB, a restante construção, incluindo o isolamento térmico e a protecção estanque é colocada do lado exterior. (Kolb, 2008, p. 127).

#### **Características - Painéis pesados**

Os edifícios construídos com componentes planos de grande formato podem ser montados de modo simples e eficiente, embora exijam sempre equipamentos de elevação na obra. Os painéis pesados surgem associados a modos de concepção em que as grelhas dimensionais de projecto já não têm um papel importante (Kolb, 2008, p. 118) As características físicas e mecânicas dos painéis são melhores que na maior parte dos tipos (Kolb, 2008, p. 113).

Os tipos de lamelados cruzados em particular exibem uma estabilidade dimensional excelente, não apresentando problemas de assentamentos devido à retracção dos elementos estruturais (Kolb, 2008, p. 113). Adequam-se por isso à concepção de edifícios de vários pisos. A montagem das pranchas de forma cruzada, permite aos componentes distribuir as cargas em ambas as direcções do plano. Podem ser utilizados nas classes de serviço 1 e 2, sendo desaconselhada a utilização na Classe de serviço 3 (Jorge, 2013).

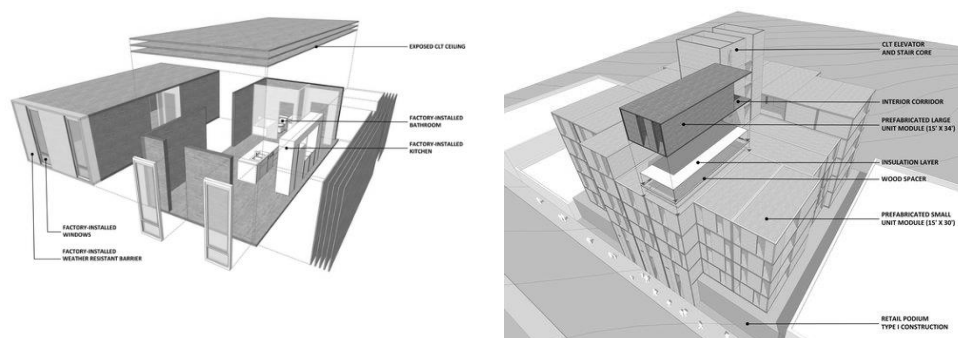


Fig. 195 - Construção modular com painéis CLT (Weber Thompson®) (<http://weberthompson.com/blog/?p=540>).

Do ponto de vista do comportamento térmico, os painéis proporcionam paredes mais delgadas que as soluções ligeiras devido à contribuição da madeira para o isolamento térmico. Uma parede com 17cm, com um painel de 94mm revestido com o sistema “capoto” (isolamento com 6cm) tem um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,38 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ . As pontes térmicas planas não existem porque as superfícies são homogêneas (Jorge, 2013). Neste caso, a estrutura, o fechamento, a selagem, etc. podem ser formadas pelo próprio componente (Kolb, 2008, p. 113). Pode-se tirar partido da elevada massa de madeira dos componentes que absorvem a humidade dos ambientes interiores, armazenando-a e libertando-a nos períodos mais secos (Kolb, 2008). No desenvolvimento do projecto é necessário contar com especialistas desde as fases preliminares (Kolb, 2008). Embora os sistemas de painéis maciços sejam em geral mais caros que os tipos de painéis reticulados leves (Provost, 2010), é necessário contabilizar os elementos de compartimentação que são assumidos pelos painéis e cujos custos são desta forma economizados.

### Projecto - Painéis pesados

Normalmente a montagem dos painéis faz-se piso-a-piso, mas também é possível conceber fachadas contínuas e pavimentos intermédios entre as paredes. Neste último caso, os painéis são pré-fabricados com os vãos recortados para portas e janelas. Os pavimentos e a cobertura podem ser realizados com os mesmos componentes, mas também é possível haver uma conjugação com outros sistemas. Em obra, os componentes são montados de forma análoga ao tipo de painéis leves. Dependendo das exigências, os componentes estruturais podem ser fornecidos já com acabamento final (Kolb, 2008, p. 114). Os painéis podem ser revestidos pelo interior ou deixados expostos.

Para as instalações eléctricas é necessário fazer entalhes no painel ou adicionar uma estrutura de sarrafos de 4cm a 6cm (as tomadas de electricidade e caixas de derivação exigem 6cm incluindo revestimentos) aos quais se liga um revestimento (placas de gesso por exemplo).

Como em qualquer sistema construtivo, nas paredes exteriores a resistência à difusão de vapor das camadas interiores deve ser coordenada com a das camadas exteriores, ainda que no caso dos painéis pesados, a humidade possa ser absorvida do ar interior, armazenada, e posteriormente libertada. Em situações normais, as barreiras pára-vapor realizadas com materiais sintéticos são desnecessárias. As exigências para uma estanqueidade construtiva são estabelecidas de diferentes modos dependendo do sistema utilizado. Em princípio os painéis pesados, dependendo do número de camadas de lamelas e do material, têm um adequado nível de estanqueidade (as especificações de cada fabricante devem ser sempre verificadas).

Como em qualquer sistema, deve ser dada especial atenção em termos de estanquidade às ligações parede-base; parede, pavimento; parede, cobertura e aos detalhes de portas, janelas, chaminés, etc. O isolamento térmico é colocado no exterior dos painéis, variando a sua espessura consoante as exigências consideradas. O acabamento final pode ser executado na forma de reboco mineral ou em alguma outra forma de revestimento com uma caixa-de-ar adicional (Kolb, 2008, pp. 115-116). Pode-se em alternativa ao sistema capoto utilizar um painel de 15cm a 25cm de espessura, com 8cm a 16cm de isolamento (placas de fibra), uma estrutura de fixação de 3cm de sarrafos e 2,5cm de espessura de revestimento exterior, sendo exigida uma membrana estanque. Os roços para infraestruturas directamente nos painéis de parede devem ser abertos na direcção vertical, reservando-se distâncias de segurança aos limites laterais com 10cm. Devem-se evitar os roços em faces opostas do painel com menos de 1m de afastamento entre si (Jorge, 2013) na projecção horizontal.

Quando se usam painéis de lamelas não cruzadas, devem ter-se em consideração as alterações dimensionais devidas ao efeito da humidade. O teor de humidade da madeira na altura da montagem deve ser igual ao conteúdo de humidade de equilíbrio, o que significa aproximadamente  $12\pm 2\%$  (Kolb, 2008, pp. 115-116). As cargas e o comprimento crítico de encurvamento (*critical buckling length*) determinarão a espessura dos elementos. Com uma altura de piso de 2,40m, uma esbelteza geométrica (proporção entre a altura e a espessura) de  $\lambda=150$ , corresponde a um mínimo de espessura de 5,5cm. Independentemente do comprimento crítico de encurvamento e das cargas, a espessura utilizada normalmente varia entre os 6cm e os 12cm. Cargas pontuais devidas a vigas de cobertura ou de pavimento devem ser suportadas por pilares adicionais.

Os painéis pesados com lamelados cruzados colados podem actuar como placas aceitando cargas horizontais, não sendo por isso necessários travamentos adicionais. Devido ao cruzamento das lamelas estes componentes podem suportar cargas em ambas as direcções quando usados horizontalmente. Os tipos com apenas uma camada só suportam esforços transversos quando usados em conjugação com ligações apropriadas ou com placas adicionais. Deve ser integrado no projecto um Engenheiro para o cálculo e desenho das estruturas, componentes e detalhes, devendo também as especificações do fabricante ser sempre ser tidas em consideração.

#### 2.1.2.12 MÓDULOS TRIDIMENSIONAIS E TIPOS MISTOS

Módulos tridimensionais são tipos em que a estrutura é constituída por um conjunto tridimensional de elementos pré-fabricados, pesados ou leves, instalados em obra no estado parcial ou completo. A vantagem dos tipos modulares em madeira em relação a tipos com outros materiais consiste na leveza que pode ser importante para o transporte e montagem em obra. Será por esse motivo que no sector residencial modular, a madeira é o material dominante (Smith, 2011). Os tipos modulares em geral estão limitados às dimensões permitidas pelo transporte, sendo em geral viáveis as dimensões de 3,00m de largura, 8,00m de comprimento e 3,20m de altura, podendo em condições especiais ultrapassar-se estes valores (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, p. 162).

Os elementos do tipo admitem todos os tipos estruturais específicos anteriormente mencionados. É possível desenvolver soluções tridimensionais pré-fabricadas singulares em função de uma encomenda única, no entanto o normal é associar-se os tipos de módulos tridimensionais a tipos pré-concebidos e limitados a um conjunto de regras (cf. Figura 195). É por esse motivo que em comparação com os tipos de elementos lineares e com os tipos de componentes planos, os tipos de elementos tridimensionais são mais vantajosos do ponto de

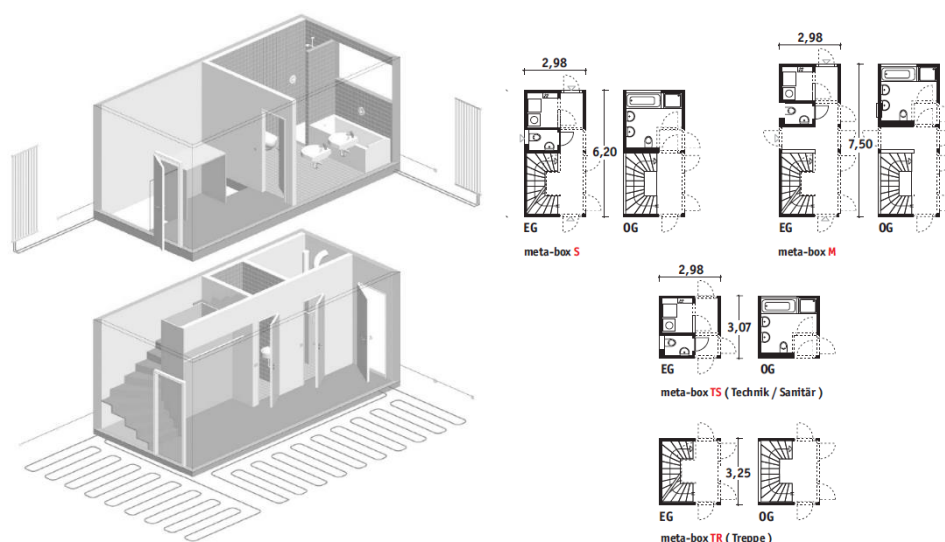


Fig. 196 - Construção com módulos parciais de casa de banho e de escada (<http://www.meta-box.de/flash6.htm>).

vista da industrialização do processo, mas são menos flexíveis do ponto de vista da personalização das soluções (Bender, 1976).

O desafio dos inúmeros tipos modulares desenvolvidos até hoje foi sempre dotar de flexibilidade uma realidade que não a tem à partida. Vários autores escreveram sobre o fascínio dos Arquitectos pela pré-fabricação e sobre os seus múltiplos falhanços (Davies, 2005). Os erros na concepção de tipos modulares pré-fabricados relacionam-se com o desenvolvimento de sistemas fechados, ou seja exclusivos de uma empresa e de uma marca, por um lado e por outro lado com um enfoque numa estética específica. Smith (2011) refere que os Arquitectos não são especialmente dotados para o design de produtos, considerando que para eles o processo é secundário e é normalmente ultrapassado pela paixão de conceber soluções únicas.

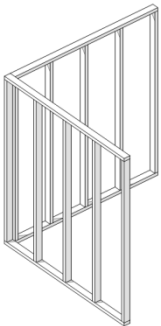
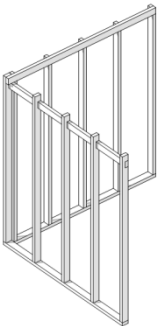
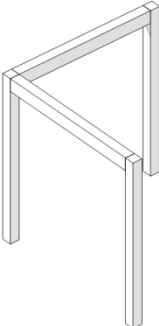
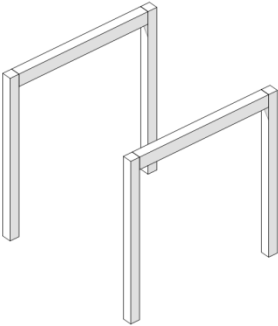
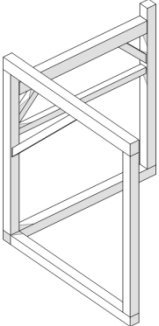
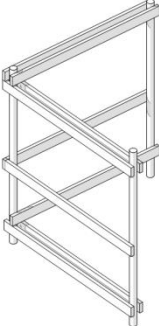
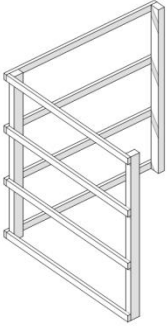
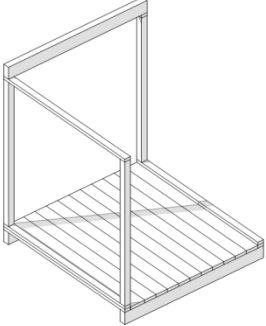
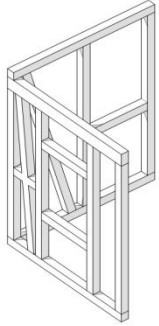
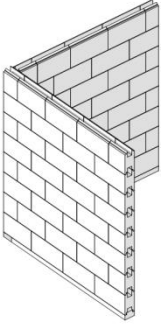
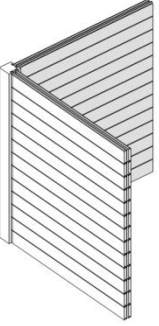
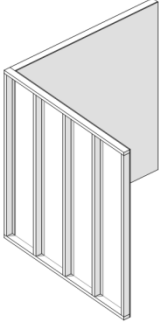
A prefabricação deverá responder às exigências de parâmetros contextuais: locais (mercado, indústria, infraestrutura, contexto cultural), organizacionais (relação com o cliente, equipa de projecto, comunicação, responsabilidades, comunicação, financiamento) e tecnológicos (disponibilidade e características). Para além de outros factores como a geografia, a proximidade de fábricas, a disponibilidade de materiais e de mão-de-obra, a pré-fabricação pode justificar-se por uma série de condições que têm relação com o tipo específico de projecto: exigência de prazos de construção rápidos; componentes ou elementos previsivelmente repetitivos; projectos com soluções especiais que exigem uma construção em fábrica; e projectos do tipo “chave na mão”, com poucas directivas do cliente na fase de desenvolvimento (Smith, 2011).

Os tipos mistos são aqueles em que a estrutura é constituída por um conjunto de componentes estruturais pertencentes a vários tipos específicos estruturais. Incluem-se nos tipos mistos, os tipos que integram em conjunto com a madeira, outros sistemas de betão, alvenaria, aço, etc. Um dos tipos mistos que mais se relacionam a madeira é o chamado LSF (Light Steel Frame) constituído por componentes metálicos e componentes derivados de madeira. A inspiração deste tipo nos tipos de reticulados leves de madeira é óbvia, substituindo-se nos elementos lineares a madeira pelo aço. As razões para a implementação deste tipo prendem-se com o contexto tecnológico do pós-guerra primeiro e mais tarde (nos anos 80) com a subida dos preços da madeira. Os componentes de base são perfis metálicos

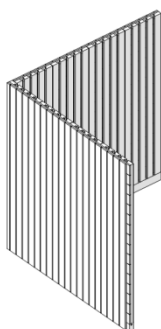
leves moldados (enformados) a frio, agrupados em planos reticulados de prumos e travessas. Os perfis do tipo estrutural são variados: secções simples abertas, secções compostas abertas e secções compostas fechadas, existindo no entanto oito perfis principais que são os mais utilizados. Os painéis que fecham os planos reticulados são placas estruturais de partículas orientadas OSB desempenhando funções estruturais e de fechamento da envolvente. Os vazios entre os componentes lineares são preenchidos com materiais de isolamento térmico como a lã de rocha, utilizando-se normalmente o sistema capoto que disponibiliza uma camada adicional e isolamento. Pelo interior utiliza-se normalmente o gesso cartonado (Rego, 2012).

### 2.1.2.13 ESQUEMAS E EXEMPLOS DOS TIPOS ESTRUTURAIS IDENTIFICADOS

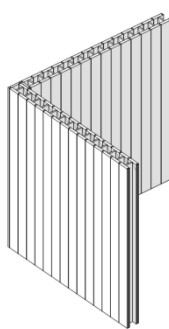
Tabela 13 - Esquemas síntese dos tipos estruturais identificados (Desenhos autor)

		
1.1.1.1. Reticulados leves tipo <i>"platform frame"</i>	1.1.1.3. Reticulados leves tipo <i>"balloon frame"</i>	1.2.1.1. Porticados de pilar-viga
		
1.2.1.2. Porticados de pórticos paralelos	1.2.1.3. Porticados tradicionais <i>"timber frame"</i>	1.2.1.4. Porticados de estacas <i>"pole construction"</i>
		
1.2.1.5. Porticados de postes verticais <i>"post frame"</i>	1.2.1.6. Porticados tipo <i>"plank and beam"</i>	1.2.2.1. Reticulados pesados tradicionais
		
2.1.1.1. Paredes leves de blocos	2.1.1.2. Paredes leves de pranchas e montantes	2.1.2.1. Painéis leves reticulados

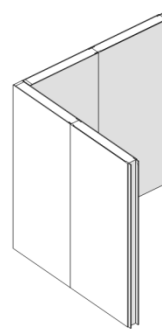




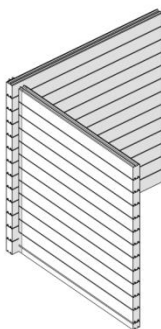
2.1.2.2.  
Painéis leves alveolares compactos



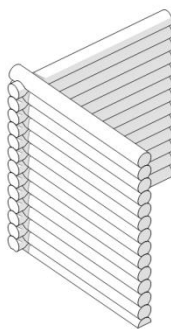
2.1.2.3.  
Painéis leves alveolares tipo caixa



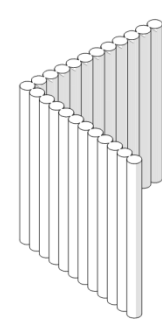
2.1.2.4.  
Painéis leves tipo sanduiche



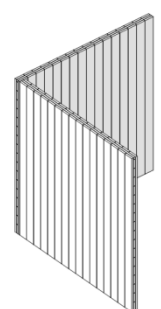
2.2.1.1.  
Paredes pesadas de toros serrados



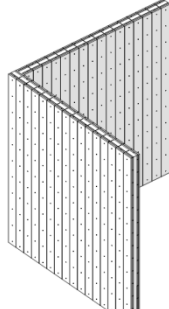
2.2.1.2.  
Paredes pesadas de toros redondos



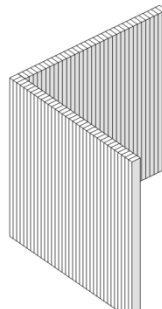
2.2.1.3.  
Paredes pesadas de toros verticais



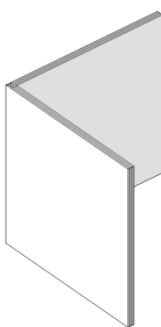
2.2.2.1.  
Painéis pesados de lamelados cruzados colados



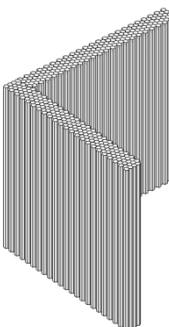
2.2.2.2.  
Painéis pesados lamelados cruzados cavilhados



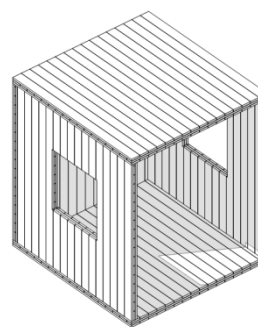
2.2.2.3.  
Painéis pesados de lamelados paralelos



2.2.2.4.  
Painéis pesados de derivados de madeira



2.2.2.5.  
Painéis pesados de feixes paralelos



3.1.1.3.  
Módulos parciais de painéis pesados (2.2.2.)

Tabela 14 - Exemplos dos tipos estruturais identificados.



1.1.1.1.

Reticulados leves tipo "platform frame"  
(<http://ownerbuilderadvice.com/wp-content/uploads/2009/03/building-materials-exposed-to-elements-300x200.jpg>).



1.1.1.3.

Reticulados leves tipo "balloon frame"  
([http://jeanhuetts.com/wp-content/uploads/2013/10/05\\_Balloon-Framing.jpg](http://jeanhuetts.com/wp-content/uploads/2013/10/05_Balloon-Framing.jpg)).



1.2.1.1.

Porticados de pilar-viga  
(<http://www.revonsbois.com/>).



1.2.1.2.

Porticados de pórticos paralelos  
([http://www.cndb.org/popup\\_zoom.php?f=http://intranet.cndb.org/Referentiel\\_Photos/04-1303895222.jpg](http://www.cndb.org/popup_zoom.php?f=http://intranet.cndb.org/Referentiel_Photos/04-1303895222.jpg)).



1.2.1.3.

Porticados tradicionais "timber frame"  
(<http://www.wiseowljoinery.com/7-birch-tree-timber-frame.html>).



1.2.1.4.

Porticados de estacas "pole construction"  
(<http://www.pacificnorthwestconstruction.com/pole-barn-construction/>).



1.2.1.5.

Porticados de postes verticais "post frame"  
(Fonte não identificada).



1.2.1.6.

Porticados tipo "plank and beam"  
(<http://www.onekindesign.com/tag/prefabricated/>).



1.2.2.1.

Reticulados pesados tradicionais  
([http://community.fachwerk.de/index.cfm/ly/1/0/im-age/a/showPicture/9602\\$.cfm](http://community.fachwerk.de/index.cfm/ly/1/0/im-age/a/showPicture/9602$.cfm)).



2.1.1.1.

Paredes leves de blocos (Fonte não identificada).



2.1.1.2.

Paredes leves de pranchas e montantes  
(Fonte não identificada).



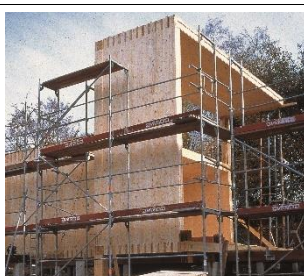
2.1.2.1.

Painéis leves reticulados (Fonte não identificada).



2.1.2.2.

Painéis leves alveolares compactos (Fonte não identificada).



2.1.2.3.

Painéis leves alveolares tipo caixa  
([http://2.bp.blogspot.com/\\_1q0JUz9lFQg/S4vBr6vRjzI/AAAAAAAAAFU/tO8MmS9pAzo/s320/Dieter+Tiel.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_1q0JUz9lFQg/S4vBr6vRjzI/AAAAAAAAAFU/tO8MmS9pAzo/s320/Dieter+Tiel.jpg)).



2.1.2.4.

Painéis leves tipo sanduiche (Fonte não identificada).



2.2.1.1.

Paredes pesadas de toros serrados (Fonte não identificada).



2.2.1.2.

Paredes pesadas de toros redondos (Fonte não identificada).



2.2.1.3.

Paredes pesadas de toros verticais (<http://www.loghomes.co.za/Chapel/Andrew/Chapel%20016-350.jpg>).



2.2.2.1.

Painéis pesados de lamelados cruzados colados (<http://www.wirtschaftsblatt.at/home/international/kmuinosteuropa/438776/index.do?from=rss>).



2.2.2.2.

Painéis pesados lamelados cruzados cavilhados (Fonte não identificada).



2.2.2.3.

Painéis pesados de lamelados paralelos (Fonte não identificada).



2.2.2.4.

Painéis pesados de derivados de madeira (Fonte não identificada).



2.2.2.5.

Painéis pesados de feixes paralelos (Fonte não identificada).



3.1.1.3.

Módulos parciais de painéis pesados (2.2.2.) (Fonte não identificada).

## 2.1.3 SÍNTESE DE CARACTERÍSTICAS TIPOLÓGICAS

Com base na lógica com que se iniciou a abordagem à tipificação dos tipos estruturais, podem elaborar-se quadros síntese de características tipológicas não só para os tipos estruturais, mas também para os tipos de envolvente e os tipos de compartimentação.

### 2.1.3.1 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS ESTRUTURAIIS

No caso dos tipos estruturais, como foi antes referido são as características de forma e peso dos componentes da estrutura vertical que são os definidores da classificação (cf. Tabela 15). As restantes características podem em princípio ser variáveis.

As soluções com elementos estruturais lineares dividem-se em reticulados leves e porticados. Os tipos com elementos planos distinguem-se pela forma como são ligados, ou seja podem ser montados em obra já na forma de planos ou aparelhados em obra através do aparelhamento de componentes (e.g. toros, blocos, etc.), distinguindo-se assim os painéis das paredes. Cada um destes subtipos é depois classificado em função do seu peso relativo. Assim, obtêm-se as os painéis leves ou pesados e as paredes leves ou pesadas.

Para os tipos de elementos tridimensionais optou-se por não especificar as muitas divisões que poderiam existir, escolhendo-se os dois processos modulares mais comuns de montagem em obra: os módulos completos e os módulos parciais.

Finalmente deveriam ser considerados os tipos de mistos nos quais são utilizados componentes provenientes de diversos tipos, divididos aqui entre tipos pesados e leves.

Tabela 15 - Características tipológicas dos tipos estruturais.

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLÓGICAS	VALORES	TIPOS PARCIAIS
Forma/ Geometria	Forma e peso dos componentes da estrutura vertical	Elementos lineares reticulados Elementos lineares porticados Elementos planos aparelhados leves Elementos planos montados leves Elementos planos aparelhados pesados Elementos planos montados pesados Elementos tridimensionais parciais Elementos tridimensionais completos Elementos de componentes mistos leves Elementos de componentes mistos pesados	<b>Reticulados leves</b> <b>Porticados</b> <b>Paredes leves</b> <b>Painéis leves</b> <b>Paredes pesadas</b> <b>Painéis pesados</b> <b>Módulos parciais</b> <b>Módulos completos</b> <b>Tipos mistos leves</b> <b>Tipos mistos pesados</b>
Forma/ Geometria	Forma da estrutura do pavimento térreo	Laje sobre solo Laje sobreelevada Laje sobre cave Estrutura de madeira sobreelevada Estrutura de madeira sobre cave	
Forma/ Geometria	Forma da estrutura dos pavimentos intermédios	Tipos lineares de vigas Tipos lineares de vigas I Tipos lineares de treliças Tipos planos leves Tipos planos pesados Tipos compósitos madeira-betão	
Forma/ Geometria	Forma da estrutura da cobertura	Asnas tradicionais Asnas de linha e pernas Asnas modernas Asnas normais Asnas simples Asna de alpendre Asna de nível Asna de tesoura Asna de mansarda Madres e varas Madres e varas sobre viga Painéis inclinados Painéis leves Painéis pesados Cobertura Plana Tipos lineares de vigas Tipos lineares de vigas I Tipos lineares de treliças Tipos de planos leves Tipos de planos pesados Tipos compósitos madeira-betão	
Forma/ Geometria	Forma e geometria das fundações	Estacas Fundações pontuais Fundações lineares Fundações em laje	
Materiais	Materiais da estrutura vertical	Madeira maciça Madeira lamelada Derivados de madeira Madeira e outros materiais	
Forma/ Materiais	Estrutura dos pisos enterrados ou semi-enterrados	Paredes em betão Paredes em alvenaria	

### 2.1.3.2 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE ENVOLVENTE

Os tipos de envolvente estão relacionados com as características dos tipos estruturais, mas na maior parte das situações o tipo de envolvente pode ser ajustado às exigências do comportamento térmico e da Arquitectura. A característica determinante para a classificação dos tipos de envolvente é a posição do isolamento em relação à estrutura das paredes da envolvente (cf. Tabela 16).

Tabela 16 - Características tipológicas dos tipos de envolvente (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008, pp. 289-291).

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS	VALORES	TIPOS PARCIAIS
Posição	Posição do isolamento relativamente à estrutura das paredes da fachada	IT* entre elementos da estrutura (alternado)+caixa de ar IT entre elementos da estrutura (alternado)+IT+caixa de ar IT entre elementos da estrutura (alternado)+IT (Capoto) IT entre elementos da estrutura (semi contínuo) - pranchas IT entre elementos da estrutura (contínuo) - sanduiche IT no interior (e.g. Troncos isolados) IT no exterior + caixa-de-ar e revestim. IT entre elementos + IT exterior (Capoto) IT no exterior (Capoto) IT no exterior da estrutura Sem IT (Toros)	IT entre estrutura     IT interior à estrutura IT exterior à estrutura    Sem IT
Posição	Posição do isolamento relativamente à estrutura da cobertura	IT entre elementos estruturais IT no exterior de elementos estruturais IT no interior dos elementos estruturais	
Materiais	Materiais da fachada e espessuras (revestimentos)	Madeira estrutural Madeira - perfis Madeira - painéis Cerâmicos Metálicos Reboco Misto	
Materiais	Materiais da cobertura e espessuras (revestimentos)	Madeira Cerâmicos Metálicos Vegetal Misto	
Posição	Posição do isolamento do pavimento térreo	IT sobre estrutura IT sob a estrutura	
Materiais	Materiais do pavimento térreo e espessuras (revestimentos)	Madeira Outros	
Materiais	Materiais dos vãos e espessuras	Madeira Alumínio PVC Aço Soluções mistas	
Materiais	Materiais da protecção de vãos e espessuras	Idem	
Posição	Posição da estrutura em relação à fachada	Fachada intervalada com a estrutura Fachada portante No interior da fachada Pelo interior Pelo exterior Alternada	

\*Nota: IT (Isolamento térmico)

### 2.1.3.3 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE COMPARTIMENTAÇÃO

Nem sempre os tipos de compartimentação estão relacionados com os tipos estruturais. Apesar de haver normalmente uma coincidência entre tipo estrutural e tipo de compartimentação, nos tipos com paredes e painéis portantes no interior, é comum adoptarem-se soluções de compartimentação diferentes, recorrendo a tipos por um lado mais leves e por outro mais económicos (cf. Tabela 17).

Tabela 17 - Características tipológicas dos tipos de compartimentação interior.

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS	TIPOLOGIAS PARCIAIS
Peso	Peso da compartimentação interior	Pesada, Leve, Mista
Materiais	Materiais e espessuras das divisórias	
Peso	Peso dos pavimentos intermédios	
Materiais	Materiais e espessuras dos pavimentos intermédios	
Integração	Integração das infraestruturas na compartimentação	
Forma	Forma das divisórias móveis (se existirem)	

## 2.2 SISTEMAS FORMAIS

Estabeleceu-se previamente a distinção tipológica, aplicável às soluções de Arquitectura, entre sistemas formais e sistemas construtivos tendo em vista a compreensão da construção em madeira. Uma vez que o objecto de estudo específico é centrado na habitação unifamiliar na perspectiva da Arquitectura e dos métodos de projecto, este instrumento de conhecimento poderá ser utilizado também para compreender e auxiliar o processo de concepção de uma habitação unifamiliar. Se relativamente aos sistemas construtivos o saber do Arquitecto tem que ser necessariamente complementado (e por vezes subordinado) por outros campos disciplinares como o da Engenharia estrutural, no caso dos sistemas formais domina claramente o campo disciplinar da Arquitectura.

Se antes se estabeleceu uma definição dos sistemas construtivos associados à construção em madeira, pretende-se aqui estabelecer uma definição dos sistemas formais com base na sua decomposição em tipos funcionais, espaciais e simbólicos. Partiu-se do princípio que ao contrário da classificação efectuada em relação aos sistemas construtivos, a classificação dos sistemas formais deveria ser o mais genérica possível, adoptando-se características tipológicas que fossem as mais relevantes no processo de definição das características formais de uma habitação unifamiliar tanto do ponto de vista do Arquitecto como na perspectiva do cliente. Essas características permitem agrupar as soluções (reais ou abstractas, existentes ou projectadas) em categorias abstractas.

A divisão dos sistemas formais em tipos funcionais, espaciais e simbólicos seguiu a lógica da organização da informação e das sínteses de projecto mais comuns num processo corrente de concepção de Arquitectura. As primeiras informações e as mais objectivas que se obtêm são as funcionais, expressas normalmente num programa, seguidas das informações espaciais que permitem definir de uma forma muito abstracta, mas mais formal as principais relações entre funções e finalmente as definições simbólicas e estilísticas são aquelas que são determinadas pelo desenho, geometria, proporção, expressão e pelos materiais.

### 2.2.1 TIPOS FUNCIONAIS

#### 2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS

As características funcionais de uma obra de Arquitectura são as que se referem aos espaços, entendidos como áreas que suportam usos distintos, tendo em conta a função, a quantidade, a dimensão e as relações estabelecidas entre espaços e entre estes e o todo.

A determinação de um tipo funcional efectua-se tendo por base os valores de características tipológicas como: o número de quartos, o número de pisos, a área dos compartimentos, a lotação, a circulação, a posição, a orientação, a geometria dos compartimentos principais (a sala), a posição das escadas e os tipos de estacionamento (cf. Tabela 18). De todas essas características são consideradas como fundamentais para a identificação de um tipo funcional duas características muito objectivas: o número de quartos e o número e tipo de pisos.

#### 2.2.1.2 SÍNTESE DE TIPOS FUNCIONAIS

Consideradas as duas características fundamentais, o número de quartos (capacidade) e o número de pisos (morfologia), identificaram-se os nove tipos de soluções mais comuns na habitação unifamiliar (cf. Tabela 19). A designação do tipo é efectuada primeiro com base na capacidade e depois com base na morfologia. Assim, propõem-se três tipos funcionais principais: pequenos, médios e grandes que se subdividem em função da morfologia adoptada.

Tabela 18 - Características tipológicas dos tipos funcionais.

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS	VALORES	TIPOS PARCIAIS
Quantidade (Capacidade)	Número de quartos	T0 T1 T2 T3 T4...(Tx)	Tipo pequeno Tipo pequeno Tipo médio Tipo médio Tipo grande
Quantidade (Morfologia)	Número de pisos	1 Piso 1 Piso + Cave 1Piso + Semi-cave 2 Pisos 2 Pisos + Cave 2 Pisos + Semi-cave	Térreo Térreo com cave Térreo em desnível De andar De andar com cave De andar em desnível
Quantidade (Área)	Área dos compartimentos	RGEU e RTHS (Pedro, 2003)	Nível de qualidade mínimo Nível de qualidade recomendável Nível de qualidade ótimo
Rácio (Lotação)	Relação nº quartos/ nº utentes (Tx/y)	RGEU Alternativa 1 Alternativa 2	Nível de qualidade mínimo Nível de qualidade recomendável Nível de qualidade ótimo
Geometria e Posição	Geometria e posição da circulação	Hall distribuidor Corredor interior Corredor no perímetro	Característica pouco relevante para a classificação
Posição	Posição dos compartimentos fixos (IS, coz.)	Agrupados ao centro Agrupados no perímetro Agrupados em banda Dispersos	Característica pouco relevante para a classificação
Orientação	Orientação dos compartimentos	Sala a sul sem quartos a norte Sala a sul com quartos a norte Sala sem quadrante sul sem quartos a norte Sala sem quadrante sul com quartos a norte	Característica pouco relevante para a classificação
Geometria	Geometria dos espaços comuns/ sala	Com uma fachada exterior Com duas fachadas exteriores Com mais fachadas exteriores	Característica pouco relevante para a classificação
Posição	Posição das escadas (se existirem)	Ao centro encerrada Ao centro aberta No perímetro encerrada No perímetro aberta	Característica pouco relevante para a classificação
Posição	Estacionamento (se existir)	Exterior Garagem anexa Integrado no piso térreo Integrado em cave Integrado em semicave	Característica pouco relevante para a classificação

Tabela 19 - Síntese de tipos funcionais

CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO DE TIPOS FUNCIONAIS												
NUMERO DE QUARTOS					NUMERO DE PISOS					TIPOS PARCIAIS		
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T5+X	Térreo	Térreo com cave	Térreo em desnível	De andar	De andar com cave	
•	•	•					•					Tipo pequeno
			•				•					Tipo médio
			•					•				térreo
			•							•		térreo com cave
			•								•	de andar
				•	•	•	•				•	de andar com cave
				•	•	•		•				Tipo grande
				•	•	•			•			térreo
				•	•	•				•		térreo com cave
				•	•	•					•	de andar
				•	•	•					•	de andar com cave

• Correspondência entre característica tipológica e tipo.



## 2.2.2 TIPOS ESPACIAIS

### 2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS

As características funcionais de uma obra de Arquitectura são aquelas que dizem respeito aos espaços entendidos como entidades geométricas, tendo em conta a sua disposição no plano, a volumetria, a posição, a relação com o terreno em que se implanta, o grau de permeabilidade (abertura-fechamento) da envolvente e o grau de flexibilidade dos espaços interiores.

A determinação de um tipo espacial pode ser efectuada tendo por base os valores de características tipológicas como: a geometria da planta, a geometria do perímetro, a volumetria, a geometria da fachada, o contacto da construção com o terreno, a implantação no lote, o grau de fechamento das divisórias interiores e o grau de mobilidade das divisórias interiores. Foram consideradas como fundamentais quatro características: a geometria da planta, a geometria do perímetro, a geometria dos volumes e a geometria/volumetria da fachada (cf. Tabela 20).

Tabela 20 - Características tipológicas dos tipos espaciais

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS	VALORES	TIPOS PARCIAIS
Geometria	<b>Geometria da planta</b>	Triangular Quadrada Rectangular Em "L" Em "Z" Em "T" Em "+" Em "U" Em H Sector circular Em pátio Vários pátios Fragmentos ligados Outras	Simples Simples Simples Simples Intermédio Intermédio Intermédio Intermédio Intermédio Intermédio Intermédio Complexo Complexo Complexo
Geometria	<b>Geometria do perímetro</b>	Linear Recortado Curvo Mista	Simples Intermédio/Complexo Intermédio/Complexo Complexo
Geometria	<b>Volumetria</b>	Volume simples Adições/Subtracções básicas Adições complexas Deformações complexas	Simples Intermédio Complexo Complexo
Volumetria	<b>Geometria da fachada</b>	Fachada contínua Fachada com subtracções Fachada com varandas Fachadas com corpos balançados	Simples Intermédio/Complexo Intermédio/Complexo Complexo
Intersecção	Contacto da construção com o terreno	De nível Sobreelevada em estacas Com piso de embasamento Com meio piso de embasamento Em desnível	Característica pouco relevante para a classificação
Posição	Implantação no lote/parcela	Adjacente à via pública Centrada no lote Recuada da via pública	Característica pouco relevante para a classificação
Fechamento	Grau de fechamento das divisórias interiores	Compartimentos completamente delimitados por divisórias Compartimentos com delimitação parcial Compartimentos sem delimitação por divisórias	Característica pouco relevante para a classificação
Mobilidade	Mobilidade das divisórias interiores	Divisórias estáticas Divisórias de correr Divisórias complexas	Característica pouco relevante para a classificação

### 2.2.2.2 SÍNTESE DE TIPOS ESPACIAIS

Do ponto de vista espacial, considerando as quatro características fundamentais, identificaram-se três tipos de soluções comuns na habitação unifamiliar. A designação do tipo é efectuada primeiro com base na geometria da planta e depois com base na geometria do perímetro, dos volumes e da fachada. Assim propõem-se três tipos espaciais: simples,



Sendo a geometria da planta a característica mais marcante dos tipos espaciais, também a geometria do perímetro, dos volumes e da fachada podem auxiliar na sua caracterização. Em casos especiais, essas características poderão alterar a classificação que foi efectuada com base na planta. Por exemplo, para uma casa com uma planta de geometria quadrada que normalmente seria classificada como um tipo simples, se o perímetro for classificado como misto (curvo e recortado), e se a sua volumetria tiver deformações complexas e se adicionalmente existirem balanços, a classificação deverá passar a ser naturalmente a de um tipo complexo.

Tabela 21 - Síntese de tipos espaciais

[illegible]

- Correspondência entre característica tipológica e tipo.
- Correspondência não obrigatória entre característica tipológica e tipo.

#### 2.2.3.1 CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS

Uma das características formais que contribui para a expressão de uma forma é precisamente a geometria tal como foi abordada na determinação dos tipos espaciais. Assim, a classificação dos tipos espaciais em simples intermédios e complexos serviria também para elaborar uma primeira classificação de carácter simbólico. Os tipos complexos como categoria

especial poderia ainda ser fraccionados em subtipos em função do tipo de regra geométrica patente na volumetria.

Assim encontram-se por um lado os tipos simples e intermédios que serão os correntes e por outro lado surgem os tipos complexos de entre os quais se podem distinguir os tipos orgânicos, os tipos expressionistas e os tipos racionais (cf. Tabela 22). Os tipos orgânicos serão aqueles em que a forma se caracteriza pelo domínio de elementos curvos. Os tipos expressionistas são aqueles em que a forma se caracteriza pelo domínio de planos concorrentes em ângulos que não o recto. Os tipos complexos racionais são aqueles em que a complexidade resulta de uma composição regrada que tem por base princípios de simetria, ortogonalidade ou centralidade.

Tabela 22 - Características tipológicas simbólicas com base nos tipos espaciais

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS	VALORES	TIPOS PARCIAIS
Tipo Espacial	<b>Geometria/ Volumetria</b>	Simples Intermédios  Complexos	Tipos comuns Tipos comuns  Tipos excepcionais: Complexos-Orgânicos Complexos-Expressionistas Complexos-Racionais

Tendo sido já a distinção entre tipos espaciais efectuada anteriormente e uma vez que os tipos simples e os tipos intermédios são os dominantes, interessa determinar uma classificação que estabeleça uma distinção entre estes.

A determinação de um tipo simbólico pode ser efectuada tendo por base os valores de diversas características tipológicas: a forma das coberturas, a expressão dos detalhes, a dimensão e proporção dos vãos de janelas e portas, a sua expressão e tipo de guarnições, o revestimento da cobertura e da fachada, a projecção da cobertura, os revestimentos de paredes interiores, tectos e pavimentos, a composição e proporção dos vãos e a expressão estrutural. Foram consideradas, para efeitos de tipificação, como fundamentais quatro características tipológicas: a forma da cobertura, a expressão dos detalhes, a dimensão dos vãos e a expressão dos acabamentos.

A classificação proposta pretendeu seguir a clássica dicotomia entre a expressão arquitectónica tradicional e a expressão contemporânea. No entanto considerou-se que deveria haver uma terceira categoria que deveria distinguir dentro da família de soluções contemporâneas, aquelas que são referenciadas às características estilísticas do Movimento Moderno. Assim, arbitrou-se que a distinção principal entre estes dois tipos seria dada pela forma da cobertura<sup>125</sup>. Os tipos designados nesta classificação como “modernos” adoptam a solução de cobertura plana enquanto os tipos classificados como “contemporâneos” recorrem à cobertura inclinada. Por outro lado, foi também necessário distinguir entre os tipos tradicionais e os tipos contemporâneos que partilham a característica “cobertura inclinada”. A distinção entre tipos contemporâneos e tradicionais tem por base as diferenças na expressão dos detalhes. A expressão abstracta e simplificada dos detalhes contemporâneos contrasta com a expressão elaborada e por vezes decorativa (cornijas, molduras, ressaltos, etc.) dos tipos tradicionais.

Encontraram-se ainda mais dois factores importantes de distinção que permitem caracterizar a envolvente quanto à relação entre cheios e vazios (vão-parede) e quanto ao tipo de materiais de acabamento utilizados. A dimensão dos vãos permite distinguir os tipos

<sup>125</sup> A cobertura tem sido considerado normalmente o principal elemento de classificação das casas (Rapoport, 1969, p. 116).

introvertidos quando os vãos são de reduzida dimensão, dos tipos extrovertidos quando são de grande dimensão. Finalmente o nível de acabamentos permite distinguir os tipos rústicos, quando os acabamentos são apresentados mais em bruto ou com reduzido grau de acabamento, dos tipos urbanos, quando se utilizam acabamentos de carácter mais “acabado”, artificial ou com um maior grau de transformação (cf. Tabela 23).

Tabela 23 - Características tipológicas dos tipos simbólicos

FACTORES	CARACTERÍSTICAS TIPOLOGICAS	VALORES	TIPOS PARCIAIS
Forma	<b>Forma da cobertura</b>  (Kolb, 2008, p. 136)	Plana Plana - Com desníveis Inclinada Inclinada em “abóbada”	Moderno Moderno Tradicional/Contemporâneo Moderno/Contemporâneo
Expressão	<b>Expressão dos detalhes</b>	Elaborada Abstracta	Tradicional Moderno/Contemporâneo
Dimensão	<b>Dimensão dos vãos</b>	Amplios Médios Contidos	Extrovertidos Extrovertidos/Introvertidos Introvertidos
Material	<b>Revestimento da cobertura inclinada</b>	Escamas de madeira (shingles) Soletos de ardósia / cerâmicos Escamas asfálticas Metálica - zinco / chapa / alumínio Telha cerâmica, ajardinada, colmo	Rústico Rústico/Urbano Urbano Urbano Rústico
Material	<b>Revestimento da cobertura plana</b>	Gravilha Ajardinada Pinturas, telas Metálicas: zinco / chapa / alumínio	Urbano Rústico Urbano Urbano
Material	<b>Revestimentos da fachada</b>	Madeira maciça estrutural Perfis de madeira à vista Perfis de madeira pintados Perfis de outros materiais Escamas de madeira (shingles) Painéis de derivados de madeira Painéis de outros materiais Sistema Capoto	Rústico Rústico Urbano Urbano Rústico Urbano Urbano Urbano
Expressão	Expressão das guarnições dos vãos	Elaborada Depurada	Rústico Urbano
Expressão	Expressão do plano dos vãos	Elaborada Depurada	Rústico Urbano
Forma	Projecção da cobertura	Inclinada com platibanda Inclinada sem beirado Inclinada com beirado	Tradicional/ Contemporânea/Moderna Contemporânea Tradicional/Contemporânea
Material	Revestimentos de paredes interiores	Madeira maciça Perfis de madeira à vista Perfis de madeira pintados Painéis de derivados de madeira Painéis estucados Painéis diversos	Rústico Rústico Urbano Urbano Urbano Urbano
Material	Revestimento de tectos interiores	Estrutura à vista Réguas de madeira Painéis de derivados de madeira Painéis estucados Outros painéis	Rústico Rústico Urbano Urbano Urbano
Material	Revestimento de pavimentos interiores	Soalho maciço Tacos maciços Flutuantes, derivados de madeira Outros materiais	Rústico Rústico/Urbano Urbano Urbano
Forma	Forma da protecção dos vãos	Persiana / Estore Portadas de abrir Portadas de correr	Urbano Rústico Urbano
Expressão	Expressão da protecção dos vãos (remates)	Elaborada Depurada	Rústico Urbano
Expressão	Expressão da composição dos vãos	Cheios superiores aos vazios Vazios superiores aos cheios	Tradicional Moderno
Expressão	Proporção dos vãos	Vertical Horizontal	Tradicional / Contemporâneo Moderno /Contemporâneo

#### 2.2.3.2 SÍNTESE DOS TIPOS SIMBÓLICOS

A partir das características tipológicas utilizadas e dos tipos de soluções determinados, é possível elaborar uma síntese dos tipos simbólicos (cf. Tabela 24 e Tabela 25). Considerando o factor geometria, cobertura, detalhes, vãos e acabamentos obtêm-se 24 tipos de soluções dentro do universo das abordagens mais comuns(cf. Tabela 24), com geometrias simples e

intermédias. Considerando as abordagens arquitectónicas mais complexas, obtêm-se 12 tipos de soluções singulares (cf. Tabela 25).

Na Tabela 26 ensaia-se uma simplificação, englobando os tipos de soluções simples e intermédias na mesma categoria, reduzindo-se deste modo os tipos possíveis a 24. No entanto, como as soluções que mais interessam no âmbito deste trabalho são as soluções correntes, a síntese global dos tipos simbólicos é apresentada na Tabela 27, estabelecendo a primeira divisão entre tipos tradicionais, contemporâneos e modernos, sendo os tipos assim obtidos repartidos depois em extrovertidos e introvertidos, sendo estes por sua vez fraccionados em urbanos e rústicos.

Tabela 24 - Tipos simbólicos mais comuns

TIPOS SIMBÓLICOS				GEOMETRIA	COBERTURA	DETALHES	VÃOS	ACABAMENTOS
<i>Geometria</i>	<i>Cobertura e Detalhes</i>	<i>Vãos</i>	<i>Acabamentos</i>					
			RUSTICO	SIMPLES	INCLINADA	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		INTROVERTIDO						
			URBANO	SIMPLES	INCLINADA	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	URBANO
	<b>TRADICIONAL</b>							
			RUSTICO	SIMPLES	INCLINADA	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		EXTROVERTIDO						
			URBANO	SIMPLES	INCLINADA	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
			RUSTICO	SIMPLES	INCLINADA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		INTROVERTIDO						
			URBANO	SIMPLES	INCLINADA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
<b>SIMPLES</b>	<b>CONTEMPORÂNEO</b>							
			RUSTICO	SIMPLES	INCLINADA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		EXTROVERTIDO						
			URBANO	SIMPLES	INCLINADA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
			RUSTICO	SIMPLES	PLANA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		INTROVERTIDO						
			URBANO	SIMPLES	PLANA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
	<b>MODERNO</b>							
			RUSTICO	SIMPLES	PLANA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		EXTROVERTIDO						
			URBANO	SIMPLES	PLANA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
			RUSTICO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		INTROVERTIDO						
			URBANO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	URBANO
	<b>TRADICIONAL</b>							
			RUSTICO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		EXTROVERTIDO						
			URBANO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
			RUSTICO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		INTROVERTIDO						
			URBANO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
<b>INTERMÉDIO</b>	<b>CONTEMPORÂNEO</b>							
			RUSTICO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		EXTROVERTIDO						
			URBANO	INTERMÉDIA	INCLINADA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
			RUSTICO	INTERMÉDIA	PLANA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		INTROVERTIDO						
			URBANO	INTERMÉDIA	PLANA	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
	<b>MODERNO</b>							
			RUSTICO	INTERMÉDIA	PLANA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		EXTROVERTIDO						
			URBANO	INTERMÉDIA	PLANA	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO

Tabela 25 - Tipos simbólicos excepcionais.

TIPOS SIMBÓLICOS				GEOMETRIA	COBERTURA	DETALHES	VÃOS	ACABAMENTOS
Geometria	Cobertura e Detalhes	Vãos	Acabamentos					
TIPOS COMPLEXOS	ORGÂNICO	INTROVERTIDO	RUSTICO	COMPLEXA/CURVA	VARIÁVEL	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		URBANO		COMPLEXA/CURVA	VARIÁVEL	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
		EXTROVERTIDO	RUSTICO	COMPLEXA/CURVA	VARIÁVEL	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		URBANO		COMPLEXA/CURVA	VARIÁVEL	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
	EXPRESSIONISTA	INTROVERTIDO	RUSTICO	COMPLEXA/RECTA	VARIÁVEL	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		URBANO		COMPLEXA/RECTA	VARIÁVEL	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
		EXTROVERTIDO	RUSTICO	COMPLEXA/RECTA	VARIÁVEL	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		URBANO		COMPLEXA/RECTA	VARIÁVEL	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO
	RACIONAL	INTROVERTIDO	RUSTICO	COMPLEXA/REGRADA	VARIÁVEL	ELABORADOS	INTROVERTIDOS	RUSTICO
		URBANO		COMPLEXA/REGRADA	VARIÁVEL	ABSTRACTOS	INTROVERTIDOS	URBANO
		EXTROVERTIDO	RUSTICO	COMPLEXA/REGRADA	VARIÁVEL	ELABORADOS	EXTROVERTIDOS	RUSTICO
		URBANO		COMPLEXA/REGRADA	VARIÁVEL	ABSTRACTOS	EXTROVERTIDOS	URBANO

Tabela 26 - Tipos simbólicos integrando o factor geometria.

CHAVE de IDENTIFICAÇÃO DE TIPO SIMBÓLICO											
GEOMETRIA			COBERTURA		DETALHES		VÃOS		ACABAMENTOS		TIPO SIMBÓLICO
Simples	Intermédia	Complexa	Inclinada	Plana	Elaborados	Abstractos	Introvertido	Extrovertido	Rustico	Urbano	
•	•		•		•		•		•		Tipo tradicional introvertido rustico
•	•		•		•		•			•	Tipo tradicional introvertido urbano
•	•		•		•			•	•		Tipo tradicional extrovertido rustico
•	•		•		•			•		•	Tipo tradicional extrovertido urbano
•	•		•			•	•		•		Tipo contemporâneo introvertido rustico
•	•		•			•	•			•	Tipo contemporâneo introvertido urbano
•	•		•			•		•	•		Tipo contemporâneo extrovertido rustico
•	•		•			•		•		•	Tipo contemporâneo extrovertido urbano
•	•			•		•	•		•		Tipo moderno introvertido rustico
•	•			•		•	•			•	Tipo moderno introvertido urbano
•	•			•		•		•	•		Tipo moderno extrovertido rustico
•	•			•		•		•		•	Tipo moderno extrovertido urbano
		•					•		•		Tipo orgânico introvertido rústico
		•					•			•	Tipo orgânico introvertido urbano
		•						•	•		Tipo orgânico extrovertido rústico
		•						•		•	Tipo orgânico extrovertido urbano
		•					•		•		Tipo expressionista introvertido rústico
		•					•			•	Tipo expressionista introvertido urbano
		•						•	•		Tipo expressionista extrovertido rústico
		•						•		•	Tipo expressionista extrovertido urbano
		•					•		•		Tipo racional introvertido rústico
		•					•			•	Tipo racional introvertido urbano
		•						•	•		Tipo racional extrovertido rústico
		•						•		•	Tipo racional extrovertido urbano

Tabela 27 - Síntese dos tipos simbólicos.

COBERTURA			DETALHES			VÃOS			ACABAMENTOS			TIPO SIMBÓLICO
Inclinada		Plana	Elaborados.		Abstractos.	Introvertidos		Extrovertidos	Rústicos		Urbanos.	
•			•			•			•			<i>Tipo tradicional introvertido rustico</i>
•			•			•					•	<i>Tipo tradicional introvertido urbano</i>
•			•					•	•			<i>Tipo tradicional extrovertido rustico</i>
•			•					•			•	<i>Tipo tradicional extrovertido urbano</i>
•					•	•			•			<i>Tipo contemporâneo introvertido rustico</i>
•					•	•					•	<i>Tipo contemporâneo introvertido urbano</i>
•					•			•	•			<i>Tipo contemporâneo extrovertido rustico</i>
•					•			•			•	<i>Tipo contemporâneo extrovertido urbano</i>
		•			•	•			•			<i>Tipo moderno introvertido rustico</i>
		•			•	•					•	<i>Tipo moderno introvertido urbano</i>
		•			•			•	•			<i>Tipo moderno extrovertido rustico</i>
		•			•			•			•	<i>Tipo moderno extrovertido urbano</i>

## 2.2.4 MODELOS

Os tipos simbólicos podem ser melhor compreendidos se visualizados através de modelos. A construção de um catálogo de modelos preferenciais através da grelha tipológica definida poderá servir de auxílio à elaboração de catálogos de soluções em que a diversidade de possibilidades é explorada de uma forma sistemática.

De seguida apresentam-se modelos que ilustram os tipos simbólicos identificados, sendo esta abordagem mais desenvolvida nos Anexos, onde é apresentada uma maior diversidade de modelos. Na Peak House (cf. Figura 197) a cobertura inclinada, bem como as molduras nos vãos confere-lhe a categoria de tradicional, as janelas de reduzida dimensão definem-na como introvertida e a madeira à vista no exterior e interior adicionam-lhe o carácter rústico. A casa de Massachusetts da Svenskhomes (cf. Figura 198) distingue-se da categoria anterior principalmente pelo seu carácter urbano dado pelo acabamento interior e exterior em régulas de madeira pintadas. A Teton Springs Pond (cf. Figura 199), apesar de se identificar como um tipo tradicional e rústico, apresenta-se como extrovertida devido à grande dimensão dos vãos (pouco comum numa casa de toros). A Stommel Haus (cf. Figura 200), apresenta as características de um tipo tradicional, e urbano, sendo o carácter de “extrovertido” dado pelos vãos amplos localizados no centro da fachada ligando os espaços comuns da casa com o exterior. Os tipos contemporâneos (cf. Figuras 201, 202, 203 e 204) definem o seu carácter de contemporaneidade principalmente pelo tipo de detalhes recusando as molduras muito expressivas nas janelas e adoptando recursos tendentes a obter superfícies (de parede e cobertura) o mais uniformes possível e contínuas. Os tipos modernos distinguem-se dos anteriores pela cobertura plana (cf. Figuras 205, 206, 207, e 208).

Escolheu-se a Dragspelhuset (cf. Figura 209) para exemplificar um tipo orgânico, com a sua geometria de planos curvos restantes de um processo de concepção intuitivo. Como ilustração de um tipo expressionista apresenta-se a Cube House (cf. Figura 210) com os seus planos de fachada dispostos em ângulos diversos, recusando-se a verticalidade e a ortogonalidade. Por fim o tipo complexo racional é bem exemplificado pela Domespace Harmonique (cf. Figura 211) cuja planta e forma evidenciam bem as regras geométricas que lhe deram origem.

#### 2.2.4.1 EXEMPLOS DE TIPOS SIMBÓLICOS

##### Tipo tradicional introvertido rústico



Fig. 197 - Peak house - Honka (<http://www.honka.com/en/residential-houses>).

##### Tipo tradicional introvertido urbano



Fig. 198 - Exterior e interior - Massachusetts timber frame home - Design Jim Driesch. Galeria de uma casa Svenskhomes (<http://www.timberhomeliving.com/nature-first/>) (<http://www.svenskhomes.co.uk/gallery>).

##### Tipo tradicional extrovertido rústico



Fig. 199 - Teton Springs Pond - Precision Craft Log & Timber homes (<http://www.precisioncraft.com/photo-gallery/handcrafted-log-homes/teton-springs-log-home/tetonsprings-pond1/>).

##### Tipo tradicional extrovertido urbano



Fig. 200 - Laburnum - Stommel Haus ([http://www.stommel-haus.co.uk/your\\_new\\_house/standard\\_houses/laburnum](http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/standard_houses/laburnum)).



### Tipo contemporâneo introvertido rústico



Fig. 201 - Chalet in Les Diablerets / Charles Pictet Architecte (<http://www.archdaily.com/324646/chalet-in-les-diablerets-charles-pictet-architecte/>).

### Tipo contemporâneo introvertido urbano



Fig. 202 - Haus BRU 1.25 / SoHo Architektur (<http://www.archdaily.com/277291/haus-bru-1-25-soho-architektur/>).

### Tipo contemporâneo extrovertido rústico



Fig. 203 - Plentzia 79 Bizkaia - AV62 Arquitectos (<http://www.av62Arquitectos.com/en/projects/plentzia-79-bizkaia-3-165-fotos>).

### Tipo contemporâneo extrovertido urbano



Fig. 204 - La Grange de Mon Père / MJ Architectes (<http://www.archdaily.com/292657/la-grange-de-mon-pere-mj-architectes/>).



### Tipo moderno introvertido rústico



Fig. 205 - Casa 205 - H Architectes (<http://europaconcorsi.com/projects/83474-Casa-205>).

### Tipo moderno introvertido urbano



Fig. 206 - House in Mejirodai / Mejiro Studio + Kozo Kadowaki (<http://www.archdaily.com/291966/house-in-mejirodai-mejiro-studio-kozo-kadowaki/>).

### Tipo moderno extrovertido rústico



Fig. 207 - São Francisco Xavier - Nitsche ([http://www.nitsche.com.br/projetos.asp?id\\_projeto=57&ant=57&si=920383666](http://www.nitsche.com.br/projetos.asp?id_projeto=57&ant=57&si=920383666)).

### Tipo moderno extrovertido urbano



Fig. 208 - Huf House Lugano (<http://www.huf-haus.com/en/italy/lugano/downloadsection-art-f.html>).

### Tipo complexo orgânico



Fig. 209 - Tipo Orgânico - Dragspelhuset - 24H Architecture (<http://www.archello.com/en/project/dragspelhuset>).

### Tipo complexo expressionista



Fig. 210 - Tipo Expressionista - Cube House - Plasma Studio (<http://www.archdaily.com/412621/cube-house-plasma-studio>).

### Tipo complexo racional



Fig. 211 - Tipo Racional - Domespace Harmonique 8,71 e Harmonique 7,20 (<http://www.domespace.com/fr/photos>).

### 3 DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Depois de definidas as tipologias arquitectónicas, considera-se necessário elaborar uma descrição aprofundada dos sistemas construtivos considerados mais relevantes a considerar no projecto de Arquitectura. A descrição efectuada terá em conta os requisitos e condicionantes arquitectónicas ao nível de materiais, produtos, pré-dimensionamentos, e opções possíveis. Na descrição efectuada designam-se os sistemas construtivos com referência aos tipos estruturais uma vez que estes condicionam as características da envolvente e da compartimentação. Assim, por exemplo em vez de “tipo estrutural de reticulados leves” é utilizado o termo “sistema construtivo de reticulados leves”.

Seleccionaram-se quatro tipos estruturais de referência para os sistemas construtivos considerados: os reticulados leves, os porticados, as paredes pesadas de toros e os painéis pesados de lamelados colados. As razões para esta selecção são as seguintes:

O sistema de reticulados leves será uma das soluções estruturais de madeira mais difundidos mundialmente no sector da habitação unifamiliar. As razões do sucesso deste sistema residem na sua simplicidade e economia. A lógica do sistema de reticulados leves é a mesma do sistema de painéis reticulados leves, distinguindo-se pelo nível de pré-fabricação mais elevado da segunda. Este sistema foi objecto de uma investigação profunda efectuada pelo Arquitecto Paulo Almeida ao nível de um doutoramento tendo em vista a sua aplicação em Portugal (Almeida, 2010). Este autor concluiu que o sistema teria todas as condições para poder ser adoptado nacionalmente fornecendo a sua tese contribuições para a elaboração de um manual prescritivo na linha dos que existem no América do Norte. Várias empresas nacionais fornecem ou estão preparadas para fornecer esta solução.

O sistema de porticados é uma solução estrutural alternativa à primeira oferecendo características muito diferenciadas, assemelhando-se a nível conceptual do sistema de porticados em betão que os Arquitectos portugueses bem conhecem. A singularidade deste sistema reside na singularidade da sua expressão arquitectónica e das suas características espaciais. É um sistema utilizado pelas empresas Portuguesas, embora se conheçam muito poucos exemplos que retirem partido de todas as suas potencialidades na habitação. Um caso excepcional, fora do âmbito das empresas de fabrico de casas, é o do projecto da casa Casa Adpropeixe em Terras do Bouro, com autoria do Arquitecto Carlos Castanheira. Este é um sistema que admite variantes relacionadas com diversas tradições regionais como as do Reino Unido ou da América do Norte.

O sistema de paredes pesadas de toros é aquele que de uma forma mais evidente expressa a construção em madeira já que na sua forma mais pura, a estrutura, a compartimentação e a expressão são coincidentes. É um dos sistemas mais difundidos em Portugal pelas empresas de construção em madeira que apostam numa abordagem estilística rústica. O sistema admite muitas variantes, havendo desenvolvimentos recentes relacionados com a necessidade de melhorar o comportamento térmico da envolvente. As regiões de origem destes sistemas (Países nórdicos e Europa de Leste) são também aquelas que acabam muitas vezes por se relacionar comercialmente com as empresas portuguesas, fornecendo a matéria-prima e os produtos do sistema.

O sistema de painéis de lamelados colados cruzados é o sistema mais inovador que existe actualmente no sector, proporcionando uma nova abordagem à construção em madeira. É um sistema com a lógica estrutural dos painéis reticulados, mas com o atractivo de permitir o uso

de um mesmo tipo de componente em todos os elementos da construção (paredes, pavimentos e cobertura). A sua simplicidade remete conceptualmente para a lógica das paredes e lajes de betão armado. As suas características eliminam ou reduzem algumas das preocupações que surgem nos restantes sistemas nomeadamente ao nível do comportamento estrutural, e da durabilidade.

Porque estes quatro sistemas são muito diferentes entre si, oferecem uma amplitude de soluções que o Arquitecto nacional poderá ter em conta como ponto de partida. Cada sistema admite variantes e subtipos, podendo haver uma adaptação às características do contexto de cada projecto. As descrições que se seguem tiveram por base fontes diversificadas, mas com um ênfase nas na experiência de empresas e organismos das seguintes regiões: Canadá para os reticulados, EUA para os porticados, Finlândia e Portugal para as paredes pesadas de toros e a Áustria e Portugal para os painéis lamelados cruzados colados.



### 3.1 SISTEMA DE RETICULADOS LEVES

Pretende-se descrever o sistema construtivo de componentes reticulados leves de madeira tendo em vista a identificação das condicionantes mais importantes para a definição do projecto de Arquitectura de habitações unifamiliares. O foco da descrição centra-se nos aspectos de maior relevância arquitectónica a ter em conta nas fases iniciais da definição do projecto. Os conteúdos específicos do cálculo estrutural, do comportamento ao fogo e do comportamento térmico serão abordados apenas superficialmente.

A tese “Sistema construtivo de madeira em edifícios de habitação de baixa densidade em Portugal” de Paulo Almeida (Almeida, 2010) apresentou as bases para um guia prescritivo no sistema de reticulados leves (“light framing”) adaptado a Portugal. Ponderou-se inicialmente utilizar esse trabalho como referência para desenvolver um caso de estudo que permitisse detectar os principais requisitos e condicionantes aplicáveis ao projecto de Arquitectura. Entretanto, uma vez que o autor da presente tese teve oportunidade de trabalhar directamente com este sistema construtivo no Canadá, como estagiário num gabinete de Arquitectura (Syverson Montayne Architecture Inc.) e como voluntário da organização Habitat for Humanity em Winnipeg, considerou-se importante utilizar como referência o manual “Canadian wood-frame house construction” (CMHC, 2013a). No Canadá esta é considerada uma obra basilar para o ensino e divulgação do sistema de construção dominante nas soluções construtivas de habitação unifamiliar. Publicado inicialmente em 1967 tem sido revisto e actualizado ao longo do tempo para se conformar às exigências contemporâneas e aos regulamentos Canadianos, nomeadamente a edição de 2010 do National Building Code.

Para além do referido manual, a descrição que se segue referenciou-se pontualmente às seguintes fontes de informação: “The visual handbook of building and remodelling” (Wing, 2009); “Habitat for humanity - How to build a house” (Haun, 2008); “Build your own frame house” (Duncan, 1991); “Housebuilding - A do-it-yourself guide” (DeCristoforo, 2007); e “Graphic guide to frame construction” (Thalon, 2009).

#### 3.1.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM RETICULADOS

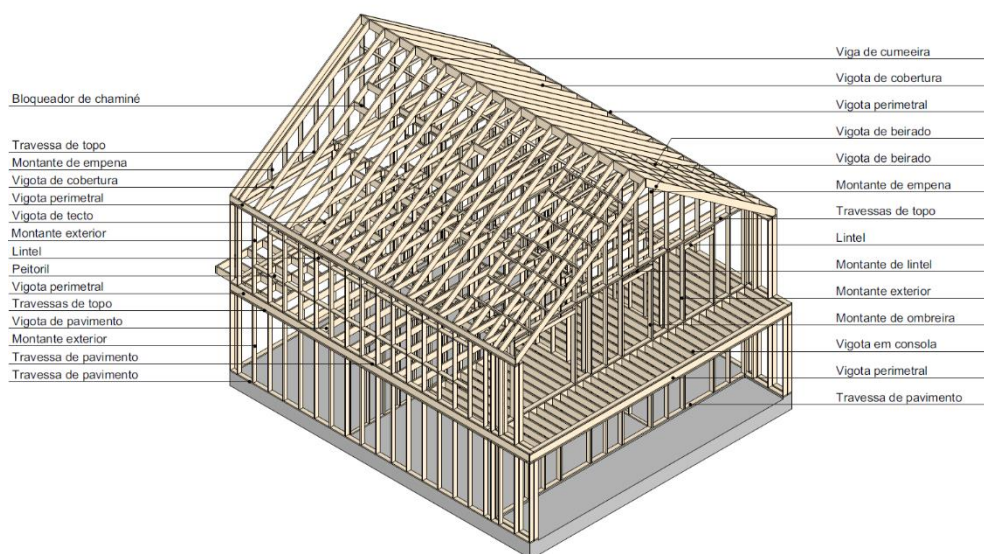


Fig. 212 - Axonometria e nomenclatura do sistema de reticulados leves (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).

### 3.1.1.1 DESCRIÇÃO GERAL - RETICULADOS

O sistema reticulado leve em madeira (*wood frame construction*) recorre a elementos de construção de madeira maciça e produtos derivados de madeira, sendo as suas principais características em termos de processo, materiais, Arquitectura, envolvente, custo e uso em Portugal, as seguintes:

1. O sistema faculta um processo de construção rápido principalmente se forem utilizados reticulados industrializados em painel.
2. O sistema consiste numa técnica de construção simples de compreender e de montar, com uma longa história de apuramento e racionalização de procedimentos.
3. O sistema permite efectuar facilmente alterações em obra especialmente se for utilizado o processo de “fabrico” e montagem *in situ*.
4. O sistema consome uma quantidade reduzida de madeira devido à natureza geométrica da reticula estrutural e à leveza dos respectivos componentes.
5. O assentamento e retracção da madeira não são aspectos muito significativos, embora devam ser considerados no projecto devido à presença de várias travessas horizontais (travessas de base e de topo).
6. A manutenção dos elementos estruturais não é muito exigente uma vez que estes são sempre protegidos, exterior e interiormente por revestimentos.
7. O sistema proporciona uma variedade ampla de abordagens formais arquitectónicas, sendo facilmente adaptável a diferentes contextos.
8. O sistema normalmente não proporciona uma grande flexibilidade da organização espacial em planta, estando condicionado pela função estrutural das paredes.
9. O sistema proporciona uma flexibilidade moderada na abertura de vãos da fachada. Sendo as fachadas portantes, a abertura de vãos é naturalmente limitada.
10. O sistema conduz a soluções de baixa inércia térmica devido à grande quantidade de isolamento térmico e à leveza dos componentes.
11. Do ponto de vista das pontes térmicas, os montantes constituem elementos de descontinuidade na fachada.
12. O sistema caracteriza-se em geral por ser económico e apropriado para soluções de custos contidos.
13. Grande parte das empresas do sector em Portugal estarão preparadas para a aplicação deste sistema na habitação unifamiliar.

Para além das vantagens genéricas ambientais associadas a todos os sistemas de construção em madeira, algumas vantagens apontadas em alguns manuais (CMHC, 2013a, p. I), como a sua adaptabilidade a climas diferentes (desde o quente e húmido ao ártico) e a sua resistência a cargas extremas de vento e sismo, não são específicos deste sistema. Outras vantagens referidas como a possibilidade de intervenções posteriores (renovação e ampliação), podem não ser verdadeiras em alguns casos, uma vez que dependem da solução estrutural que se concebe em cada situação particular (por exemplo se as paredes forem portantes, evidentemente que não deverão ser alteradas).

O sistema combina componentes repetitivos de madeira maciça ou de derivados (como por exemplo os montantes, as vigotas maciças ou as vigotas I-Joists) disponíveis no mercado em dimensões normalizadas. Os componentes principais são os montantes (*studs*), as vigotas de pavimento ou tecto (*floor or ceiling joists*), as vigotas de cobertura (*rafters*) as asnas de cobertura (*roof trusses*) e os painéis (*sheathing*) de parede, pavimento e cobertura. No seu

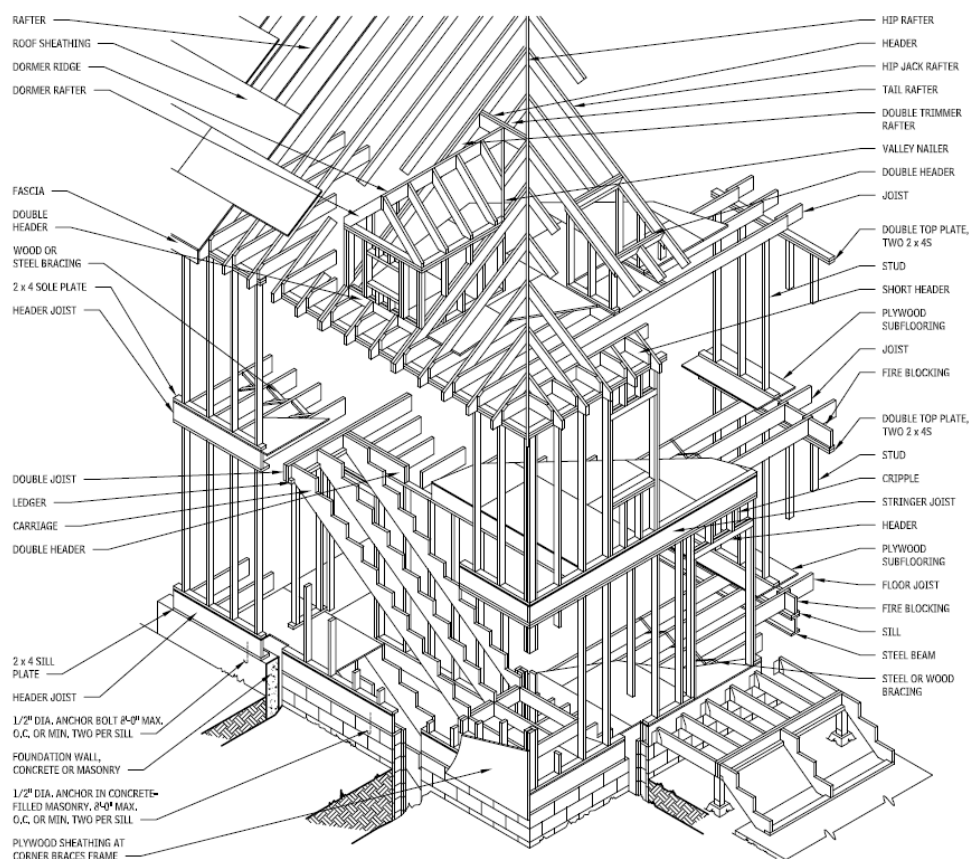


Fig. 213 - Axonometria do sistema *platform framing* (American Institute of Architects, 2008).

conjunto estes componentes concretizam estruturas com resistência ao vento, sismo, neve e cargas permanentes e variáveis<sup>126</sup>. Na construção residencial, os montantes são dispostos entre si segundo afastamentos inferiores a 600mm (24"). Os vãos das coberturas (ou entre paredes de fachada opostas) podem ir normalmente até aos 12,20m (40') (CMHC, 2013a, p. 89), limitando as dimensões correntes das habitações unifamiliares.

A envolvente construída é constituída por fundações, pavimentos, paredes e cobertura, sendo frequentemente as paredes interiores serem portantes. Neste caso, estas devem ser montadas ao mesmo tempo que as paredes exteriores. A rigidez do conjunto só é concretizada quando é terminada a montagem e concluído o revestimento da envolvente. Pode ser necessário por esse motivo, providenciar contraventamentos temporários ou travamentos diagonais permanentes (CMHC, 2013a, p. 89).

O subsistema mais comumente utilizado no Canadá e também nos Estados Unidos da América é o *platform-framing*. Neste sistema o conjunto de paredes de um piso é montado sobre a plataforma formada pelo pavimento que é previamente construído. As paredes podem ser pré-fabricadas e instaladas sobre cada pavimento, podendo em alternativa ser fabricadas em obra sobre os pavimentos e depois erguidas sem haver necessidade de recorrer a equipamentos pesados de elevação. (CMHC, 2013a, p. 90).

O sistema *balloon-framing* é apenas utilizado ocasionalmente ou em soluções parciais. Neste caso os montantes das paredes exteriores e de algumas paredes interiores são contínuos tendo o seu término nas travessas de topo que suportam a cobertura. As vigotas de pavimento são suportados por vigotas perimetrais montadas através de entalhes realizados

<sup>126</sup> As cargas de projecto devido aos ocupantes não devem exceder os 2,4 kPa.



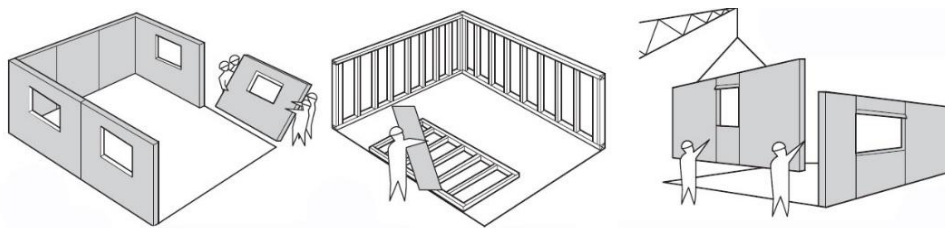


Fig. 214 - Métodos de construção: painéis parciais pré-fabricados, reticulados montados em obra, e painéis de grande dimensão pré-fabricados (TRADA, 2008).

nos montantes. A desvantagem deste sistema consiste na vulnerabilidade em caso de incêndio, havendo a necessidade de integrar uma barreira corta-fogo adicional entre pisos. A sua vantagem principal é dada pelo menor assentamento vertical (em relação ao sistema *platform-framing*), devido à presença de menos elementos estruturais dispostos na horizontal. Em algumas habitações de dois pisos, constroem-se pontualmente paredes intermédias segundo o sistema *balloon-frame* para permitir uma passagem contínua das infraestruturas (CMHC, 2013a, p. 90).

Deve ser considerada ainda uma variante do *platform frame* que consiste na integração de técnicas avançadas de reticulados (*AFT - Advanced framing techniques no Canadá ou OVE - Optimum Value Engineering nos EUA*), com o objectivo de reduzir a quantidade de madeira utilizada na construção (na ordem dos 15% a 20%) (Wing, 2009). A madeira é aqui eliminada onde não é estruturalmente necessária, evitando os desperdícios em obra, aumentando a resistência térmica (devido à diminuição de pontes térmicas) e reduzindo os custos de construção. Esta abordagem consiste em privilegiar as decisões estruturais que necessariamente condicionarão outras exigências de projecto subordinadas, nomeadamente as formais. É um processo que exige uma coordenação cuidada dos elementos da cobertura, do pavimento e dos componentes de parede porque a localização das vigotas e asnas tem que ser coincidente com os montantes, permitindo deste modo que apenas uma travessa de topo seja utilizada. Neste sistema, os montantes intermédios de vãos de janelas (*cripple stud*) e os montantes de ombreira (*jack studs*) são preferencialmente eliminados, ou substituídos por elementos metálicos (*metal hangers*), especialmente se a localização dos vãos de portas e janelas for coordenado com o posicionamento dos montantes na grelha estrutural (CMHC, 2013a, p. 90). O afastamento dos montantes é normalmente de 24" (cerca de 60cm) e a viga de bordadura tem apenas 1" (2,54cm) de espessura. Utilizam-se preferencialmente asnas para eliminar a necessidade de paredes interiores de suporte das vigotas e as suas secções são preferencialmente de 2"x4". A travessa de soleira (ou de base) é igualmente aligeirada, tendo também apenas 1" de espessura (Wing, 2009).

No Reino Unido os reticulados leves são na maior parte dos casos construídos recorrendo a painéis pré-fabricados e a asnas pré-fabricadas de madeira, com apenas algumas companhias a instalarem a estrutura na obra. Em geral os painéis são fabricados como "*open-panels*", com uma estrutura de montantes e travessas, um painel de revestimento estrutural e uma membrana respirante. Outra solução, menos utilizada, consiste em pré-fabricar "*closed-panels*", integrando isolamento térmico, revestimentos de acabamento interior e por vezes exterior, podendo também incluir janelas e portas. A escolha por um ou por outro método é realizada em função das condicionantes económicas e funcionais, sendo a opção tomada nas fases iniciais do processo. A construção com painéis contempla o método das pequenas unidades, até cerca de 3,60m de comprimento destinadas a manuseamento humano, ou painéis de fachada completos que pressupõem a utilização de gruas para a sua instalação (TRADA, 2008).

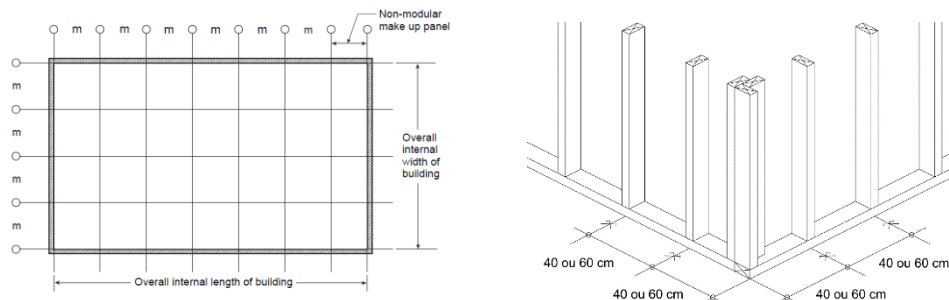


Fig. 215 - Grelha estrutural e compatibilidade dimensional entre componentes (TRADA, 2008) (Bignon & Critt-Crai, 2003).

### 3.1.1.2 GRELHA ESTRUTURAL - RETICULADOS

As formas de conceber a estrutura e a dimensão das secções dos montantes estruturais<sup>127</sup> afecta os níveis de isolamento, pelo que na definição da envolvente, as exigências térmicas e estruturais devem ser observadas em conjunto. As dimensões da secção real do montante básico normalizado, na América do Norte e no Reino Unido (TRADA, 2008) tem 38mmx89mm. No Reino Unido, para além das secções mais comuns de 38x89mm, 38x140mm e 38x235mm (TRADA; IStructE, 2007), também é utilizada a secção de 97mmx47mm. Noutras regiões adoptam-se outras dimensões: em França as secções correntes têm 46x97mm, 46x122mm e 46x147mm (Bignon & Critt-Crai, 2003), e na Finlândia, têm 48mmx97mm para o interior e 48mmx172mm para o exterior (Viljakainen, 2003). Kolb (Kolb, 2008) reportando-se ao contexto da Suíça refere que os montantes normais têm dimensões de 60mmx120mm. O espaçamento entre montantes varia, entre aproximadamente 300mm (conversão aproximada de 12"), 400mm (conversão aproximada de 16"), ou 600mm (conversão aproximada de 24"). Mas em rigor as dimensões imperiais utilizadas na América do Norte, se convertidas para o sistema métrico resultarão em 305mm, 406mm e 610mm. As dimensões de 12", 16" ou 24" são utilizadas porque constituem fracções das dimensões de fabrico dos diversos painéis: de gesso, de contraplacado e de OSB) (CMHC, 2013a, p. 90). A altura normalizada dos montantes em muitas regiões da América do Norte é de 92-1/4" (2,457m)<sup>128</sup>, o que conjugado com as três travessas (uma na base e duas no topo) resulta em 96-3/4" permitindo que sejam instaladas placas de gesso de 1/2" ou 3/8" no tecto com placas de 8' (2,44m) de altura nas paredes (Haun, 2008, p. 42). As travessas de base e de topo entre as quais se instalam os montantes proporcionam barreiras ao fogo e oferecem linhas de pregagem e suporte para os painéis de revestimento estrutural exterior e dos acabamentos interiores (CMHC, 2013a, p. 90).

O princípio de concepção através da grelha consiste primeiro em dispor os apoios das vigotas de pavimento (ou seja as paredes portantes) em intervalos até 4,00m a 6,00m, dependendo da resistência das vigas ou vigotas escolhidas. Em habitações de um só piso, com asnas na cobertura, em princípio apenas as paredes exteriores devem ser portantes (as paredes interiores não necessitarão de o ser), mas se a cobertura for executada com vigotas (e não com asnas), deverá ser necessária, em princípio, uma parede portante a suportar a viga de cumeeira. Em habitações de dois pisos, o mesmo princípio é aplicado para o piso superior, sendo em princípio necessário no piso inferior paredes portantes para suportar as vigotas de pavimento. Um critério de poupança no dimensionamento da grelha consiste em começar a contar a grelha na face exterior da viga de bordadura para diminuir os cortes nas placas de revestimento do pavimento (Viljakainen, 2003, p. 38).

<sup>127</sup> Nomeadamente a maior dimensão, uma vez que a menor costuma ser de 38mm.

<sup>128</sup> Na Finlândia, o comprimento normalizado dos montantes é de 2,48m e 2,63m. Viljakainen (Viljakainen, 2003) Sugere que a altura da construção seja regrada em função da altura standard dos montantes.

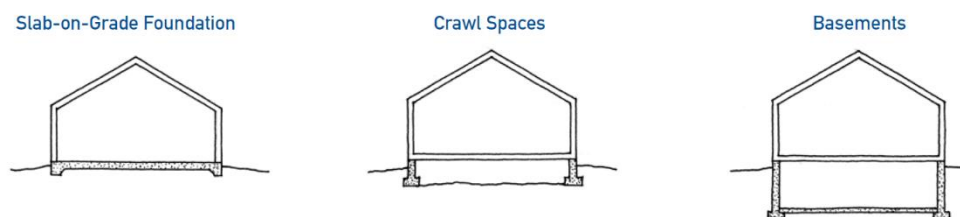


Fig. 216 - Tipos principais de fundações: pavimento térreo sobre o terreno, pavimento térreo sobre espaço de serviço, e pavimento térreo sobre cave (Thalon, 2009).

### 3.1.1.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS - RETICULADOS

Os elementos estruturais principais do sistema são as paredes, compostas de montantes e travessas de soleira e de topo, conjugadas com os painéis de revestimento em OSB ou contraplacado. Por vezes recorre-se a elementos estruturais verticais alternativos como os pilares compostos através da pregagem de dois ou mais montantes. Os elementos horizontais do sistema são as vigotas que podem ser de madeira maciça simples ou também compostas (por pregagem ou ligação por placas), ou de derivados de madeira como as vigotas lameladas, vigas LVL, vigotas treliçadas e vigotas tipo I-joist. As vigotas de pavimento e de cobertura em conjunto com os revestimentos estruturais de OSB ou de contraplacado formam os pavimentos e as coberturas.

Os vãos possíveis entre elementos estruturais dependem da secção, tipo e espaçamento de vigas de pavimento e dos apoios e das cargas consideradas. Para além do aumento da secção e da redução do espaçamento, a duplicação de vigas é um recurso possível para conseguir obter vãos estruturais de maior dimensão. Segundo Viljakainen (2003, p. 38) as vigotas normais vencem vãos entre 4,00m e 5,00m, mas com outros produtos derivados de madeira podem atingir-se vãos até 7,00m, devendo nestes casos considerar-se o acréscimo nas alturas dos componentes (300 a 400mm).

### 3.1.1.4 FUNDAÇÕES - RETICULADOS

Existem três tipos principais de fundações: pavimento térreo sobre o terreno, pavimento térreo sobre espaço de serviço e pavimento térreo sobre cave (cf. figura 216). No primeiro caso a laje sobre o pavimento é construída geralmente com 10cm de espessura sobre gravilha, podendo contemplar isolamento térmico e uma tela retardante de vapor entre estas duas camadas, variando muito o desenho das sapatas em função do tipo de solo e dos limites orçamentais (Wing, 2009). No segundo caso, normalmente o pavimento é realizado em elementos estruturais de madeira, recorrendo-se a paredes de fundação em betão ou blocos de cimento. No terceiro caso, normalmente o pavimento térreo é realizado em estrutura de madeira e o pavimento da cave em betão, utilizando-se normalmente muros de suporte em betão, blocos de cimento ou ainda paredes de reticulados de madeira. Em qualquer caso, uma primeira recomendação, em termos de definições geométricas, consiste em localizar a cota de soleira pelo menos cerca de 20cm (8") acima do solo envolvente, prevendo-se neste uma inclinação para o exterior de pelo menos 6" em 10' (152mm/3048mm).

A escolha das fundações mais apropriadas relaciona-se, para além da tipologia funcional (habitação com cave ou só com piso térreo), com as condições do solo local. (Haun, 2008). A espessura das paredes de fundação deve ser determinada em função da altura do solo envolvente, do número de pisos da construção e da altura da própria parede. Devem prever-se fundações próprias para elementos singulares, como lareiras ou paredes pesadas. Deve ser previamente determinada a localização dos parafusos de ancoragem da estrutura reticulada de madeira no topo das paredes de fundação. O enchimento das valas de

escavação adjacentes às fundações deve ser precedido da cura do betão, devendo também a estrutura reticulada estar montada previamente para proporcionar o travamento horizontal necessário. Deve ainda ser previsto um sistema drenagem das fundações e um sistema de impermeabilização adequados às condições locais. (CMHC, 2013a, p. 14).

### Sapatas

O manual “Canadian wood-frame house construction” descreve as soluções construtivas com base nas soluções correntes, avançando com dimensões que evidentemente têm aplicação na América do Norte, podendo noutros contextos ser diferentes. No caso de sapatas contínuas (*wall footings*) estas devem projectar-se para cada um dos lados da parede superior pelo menos 100mm (4”). Quando as sapatas não forem reforçadas a espessura deve ser superior a esta projecção (CMHC, 2013a, p. 66). Para pilares isolados utilizam-se sapatas pontuais que têm normalmente dimensões de cerca de 640mmx640mm para habitações de um piso e para solos estáveis e cerca de 870mmx870mm para habitações de dois pisos. A espessura das sapatas com reforço deve ser de pelo menos 100mm e não deve nunca ser inferior à projecção medida desde o limite exterior da travessa de base (*base plate*) até ao limite da sapata. Em climas frios as sapatas devem ser montadas abaixo do nível de congelamento (*frost level*), ou sobre materiais não susceptíveis ao congelamento, podendo ainda ser protegidas através de isolamento térmico (CMHC, 2013a, p. 66).

### Características das Fundações

As paredes de fundação transmitem as cargas da superestrutura para as sapatas, sendo as mais comuns: de betão moldado em obra, de blocos de betão, de betão com cofragem isolante (ICF)<sup>129</sup> e em madeira tratada (CMHC, 2013a, p. 70) (cf. figura 217). A espessura das paredes de betão e dos blocos de betão varia normalmente entre cerca de 150mm e 300mm (6” a 12”) dependendo da altura e profundidade do sector de parede abaixo do solo e do suporte lateral dado pelo sistema da estrutura de pavimento. Para solos estáveis estas espessuras podem ser determinadas mediante a consulta de tabelas prescritivas. A espessura das paredes deve normalmente ser aumentada quando estas suportam revestimentos de acabamento em alvenaria de tijolo (CMHC, 2013a, p. 70).

A construção das fundações deve ser coordenada com a estrutura de madeira, planeando-se antecipadamente as formas de ligação entre betão e madeira. Tanto as aberturas de vãos de cave como os negativos para a recepção das entregas das vigas devem estar previstos antes da execução da obra de betão armado. No caso das vigas que são ligadas ao betão abaixo do nível do solo deve prever-se um tratamento ou, em alternativa, deverá ser deixado um espaço entre estas e o betão de pelo menos 12mm (1/2”) para circulação do ar (CMHC, 2013a, p. 72). Também a posição dos parafusos de ancoragem<sup>130</sup> nas paredes de fundação deve estar prevista para que sejam instalados antes do endurecimento do betão.

As juntas entre paredes de fundação e lajes de pavimento devem ser seladas para prevenir a entrada de rádon. Para este efeito é normalmente utilizada uma tela de polietileno que deve

<sup>129</sup> O uso de fundações de betão com cofragem isolante (ICF) em poliestireno é cada vez mais corrente no Canadá, devido às vantagens ao nível do menor trabalho que exige e às facilidades que proporciona na cura do betão (CMHC, 2013a, p. 75).

<sup>130</sup> Estes parafusos terão pelo menos 12,7mm (1/2”) de diâmetro espaçados pelo menos 2,4m (8’) entre si e embecidos pelo menos 100mm (4”) na parede de fundação. As terminações das ancoragens devem ser dobradas ou deformadas (CMHC, 2013a, p. 73). Edifícios com dois ou mais pisos e em zonas de elevado risco ao vento e ao sismo requerem ancoragem adicional, constituída por parafusos de 12,7mm (1/2”) espaçados de pelo menos 1,7m (5’-6”) ou parafusos de 15,9mm espaçados não mais do que 2,4m (8’). Em qualquer dos casos, o primeiro parafuso deve localizar-se cerca de 0,5m do término de cada parede de fundação, devendo haver pelo menos duas ancoragens por cada painel de parede (CMHC, 2013a, p. 73).

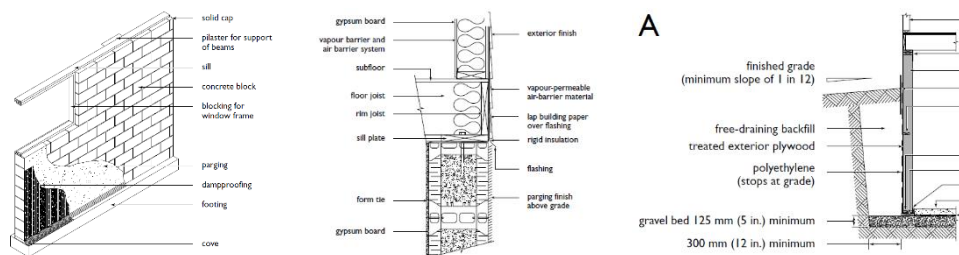


Fig. 217 - Fundações: com blocos de cimento, com blocos isolados, com estrutura de madeira (CMHC, 2013a).

ser dobrada sobre a parede de fundação e estender-se pelo menos 100mm (4") na vertical, sendo depois selada (CMHC, 2013a, p. 73).

As fissuras nas lajes e nas paredes que ocorrem depois da obra podem ser minimizadas utilizando reforços de aço ou juntas de controlo<sup>131</sup> executadas através da montagem de perfis aparafusados nas duas faces das cofragens da parede de betão. O objectivo destas juntas consiste em causar um ponto mais fraco nos componentes permitindo que as fissuras que ocorrem se localizem em locais previamente definidos (CMHC, 2013a, p. 74).

As paredes de fundação terão uma espessura entre 150mm 300mm dependendo do tipo de betão utilizado e da dimensão da parede acima do solo. (CMHC, 2013a, p. 266). A dimensão das sapatas variará entre 250mm e 500mm, em função das cargas e do número de pisos. Uma habitação unifamiliar de dois pisos, suportando paredes exteriores, deverá ter normalmente uma sapata de 350cm (CMHC, 2013a, pp. 265,266).

Os blocos de betão para fundações surgem em diversas dimensões. No Canadá os mais comuns são os de dimensões modulares de 200mm (8") de altura, 400mm (16") de comprimento e 150, 200, 250, 300mm (6", 8", 10" e 12") de espessura<sup>132</sup>. Os topos das paredes de blocos devem ser tamponados com 50mm (2") de alvenaria maciça ou com betonilha. Quando as térmitas não são um risco, pode aplicar-se uma travessa de madeira tratada com 38mm (2" nominais) de espessura e com a mesma espessura da parede (CMHC, 2013a, p. 77).

No manual prescritivo proposto por Almeida (2010) refere-se que as sapatas em T devem ter uma espessura mínima de 150mm, sem que as projecções excedam a espessura da fundação. Para o suporte de paredes portantes (*shear wall*) exteriores em zonas de actividade sísmica, e interiores em edifícios com mais de 15,00m de comprimento ou largura, devem ser previstas fundações corridas (Almeida, 2010, p. 165).

Os perfis de madeira dos revestimentos das paredes exteriores devem projectar-se pelo menos 12mm para além das paredes de fundação (1/2") de modo a evitar que a água da chuva não entre através da junta de topo. O exterior das paredes de fundação em blocos deve ser revestido com pelo menos 6mm (1/4") de reboco de cimento, formando uma meia cana na junta exterior entre as sapatas e as paredes de fundação. A parede deve ser depois impermeabilizada aplicando pelo menos uma camada de um material betuminoso (CMHC, 2013a, p. 77).

<sup>131</sup> As juntas de controlo são necessárias em paredes com mais de 25 metros (82') de extensão, não devendo o seu intervalo ser superior a 15m (49'). As juntas devem ser localizadas em pontos naturalmente mais fracos como os limites de janelas e portas. As juntas de controlo para pequenas paredes não são obrigatórias, embora sejam aconselhadas. Depois da descofragem estas juntas devem ser cobertas com um selante, após o qual será aplicada uma tela impermeável (CMHC, 2013a, p. 75).

<sup>132</sup> As dimensões reais são 9,5mm (3/8") inferiores às dimensões modulares correspondentes à junta de assentamento. Existem blocos especiais para aplicar em cantos, lintéis, ombreiras, etc. (CMHC, 2013a, p. 76).

As paredes de fundação de madeira (cf. figura 217) são construídas com uma travessa de soleira de fundação de madeira tratada por pressão, sobre uma camada granular de drenagem. Sobre essa travessa monta-se uma parede reticulada com as travessas de base, os montantes e as travessas de topo, e ainda com o painel de revestimento de contraplacado, tratado por pressão, e coberto com uma tela de polietileno para protecção contra a entrada de humidade<sup>133</sup> (CMHC, 2013a, p. 78).

As paredes de fundação abaixo do solo devem ser protegidas contra humidade com uma camada de um material betuminoso, aplicada no exterior desde as sapatas até ao nível do solo, devendo ser também drenadas (CMHC, 2013a, p. 83). Dependendo da localização da obra pode ser necessário impermeabilizar as fundações. Para as paredes a impermeabilização consiste numa membrana que pode ser por exemplo constituída por duas camadas de feltro saturado de betume (CMHC, 2013a, p. 83). As fundações normalmente devem ser drenadas com a colocação de um tubo-dreno em redor do perímetro da cave e uma camada granular drenante (CMHC, 2013a, p. 84).

As paredes de fundações devem ser isoladas termicamente (pelo interior ou pelo exterior) sempre que envolvam espaços termicamente condicionados. Para reduzir o risco de acumulação de humidade seria recomendável que as paredes de betão isoladas pelo interior fossem deixadas expostas durante vários meses para poderem libertar o excesso de humidade antes do isolamento ser aplicado. Quando é utilizado isolamento em fibras, tipo lã de rocha, num reticulado, deve ser utilizado um material contra a humidade na separação entre o isolamento e o betão. O isolamento pelo exterior em alguns casos cumpre também a função de camada drenante (CMHC, 2013a, p. 86).

As lajes de betão sobre o solo são uma solução normal para os pavimentos de caves ou para os pavimentos principais das habitações. A solução de laje de betão é adoptada especialmente em zonas com Inverno moderado ou quando se pretende uma solução económica. A economia desta solução consiste na acumulação das funções de fundação e sub-pavimento (Haun, 2008). As lajes podem ser moldadas no interior das paredes de fundação pré instaladas, ou de forma integrada contemplando a laje e as fundações perimetrais e eventualmente reforçando pontos de pilares e paredes portantes na zona interior da laje (Haun, 2008). Em pequenos edifícios, as lajes são suportadas pelo próprio solo não necessitando de fundações perimetrais (CMHC, 2013a, p. 80). As lajes das caves<sup>134</sup> são executadas depois do edifício ter sido fechado com painéis de revestimento estrutural e das infraestruturas de águas e esgotos e drenagem da cave terem sido instaladas.

As lajes de pavimento sobre o solo são semelhantes às lajes de cave. Estas devem ter a sua cota pelo menos 150mm (6") acima da cota do solo exterior (CMHC, 2013a, p. 82), devendo

<sup>133</sup> O espaço entre os montantes pode ser preenchido com isolamento e o interior pode ter um revestimento de acabamento. Deve instalar-se uma tela de polietileno sob os pavimentos com fundações de madeira e deve adicionalmente colocar-se uma faixa de polietileno entre a travessa de base da parede e a travessa de soleira que constitui a base da fundação. Os pavimentos podem ser executados: com uma laje de pavimento convencional, com um pavimento de madeira sobre uma estrutura de travessas de madeira (*sleepers*) assente numa camada granular, ou ainda com uma estrutura de madeira suspensa (CMHC, 2013a, p. 78).

<sup>134</sup> As lajes devem ter pelo menos 75mm (3") de espessura e devem ter uma inclinação dirigida para o ralo ou para um poço de drenagem. Deve haver uma barreira sob a laje, por exemplo de polietileno com 0,15mm e as juntas devem ser seladas (CMHC, 2013a, p. 80). As lajes devem ser instaladas sobre uma camada de solo compactado, sobre o qual é colocada uma camada de 100mm (4") de pedra triturada ou gravilha grosseira, podendo sobre esta ser instalada uma camada de poliestireno rígido para isolamento térmico. Deve ainda ser colocada uma tela de polietileno de 0,15mm sob a laje, com as juntas perimetrais seladas, para protecção contra o radón. Quando houver um nível freático elevado, a laje deve ser impermeabilizada (CMHC, 2013a, p. 80). Devem ser também previstas juntas de controlo, tal como as previstas para as paredes. A distância máxima entre juntas de controlo deve ser entre 4,5m e 6m (15' e 20') em ambas as direcções. Depois de acabada a superfície, a cura tem início e estende-se por pelo menos cinco dias com temperaturas superiores a 21°C ou sete dias com temperaturas entre 10 e 20°C (CMHC, 2013a, p. 81).



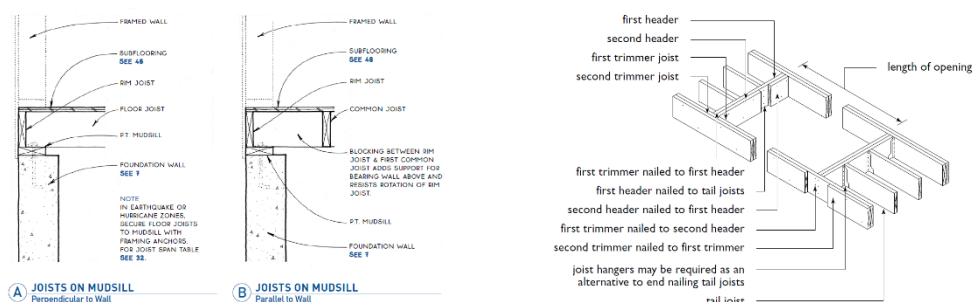


Fig. 218 - Estrutura de pavimento característica (Thalon, 2009) e reforço para abertura de vão no pavimento (CMHC, 2013a).

ser instalado isolamento térmico rígido ao longo de todo o perímetro da laje. A laje deve ser reforçada com varões de 9,5mm (3/8"), espaçados de 600mm (24") em ambas as direcções. Pode em alternativa ser instalada uma rede pré soldada (CMHC, 2013a, p. 83). As lajes de pavimento devem também ser impermeabilizadas sempre que os locais da obra o exijam. Esta impermeabilização pode consistir numa membrana colocada entre duas camadas de betão, com a espessura de cada camada superior a 75mm (3"), devendo ser selada à membrana de parede (CMHC, 2013a, p. 83).

Na solução de pavimento de madeira sobre um espaço de serviço (utilizado para passagem de infraestruturas), se este não for aquecido, é essencial prever uma barreira entre os espaços condicionados e não condicionados. As paredes destes espaços de serviço devem ser protegidas da humidade, com instalação de drenos, devendo o terreno integrar inclinações dirigidas para os canais e pontos de drenagem. O solo dos espaços de serviço devem ser revestidos com uma camada de betão ou com uma tela de polietileno (CMHC, 2013a, p. 87) para evitar a acumulação de água e humidade.

Em zonas onde a presença de térmitas é um risco, os construtores costuma subcontratar serviços de instalação de pesticida em redor da base das fundações antes de ser feito o aterro das valas abertas. No entanto se se pretende evitar a colocação de pesticidas no solo (como deve acontecer obrigatoriamente na Europa), deve-se utilizar madeira tratada para além da travessa de base, e também nas vigas sobre o espaço de sub-pavimento (*crawl space*). Devem utilizar-se escudos de térmitas de metal galvanizado (para evitar deterioração da madeira) entre o topo das fundações e a travessa de soleira de modo a tornar o percurso das térmitas até à madeira mais difícil e mais fácil de detectar (Haun, 2008).

### 3.1.1.5 PAVIMENTOS - RETICULADOS

#### Pavimentos térreos

Podem ser utilizadas tabelas de vãos (*span tables*) para definir as dimensões das vigas de pavimento, as espécies e classes aplicáveis, o espaçamento, os vãos e as cargas. Deve ser prevista a integração das infra-estruturas na estrutura do pavimento de modo a não comprometer o seu desempenho através da redução das secções que normalmente tal procedimento implica. As características dos revestimentos dos pavimentos e dos sub-pavimentos devem ser ajustados à dimensão definida para o afastamento entre vigotas (CMHC, 2013a, p. 15).

O primeiro procedimento de carpintaria, nas estruturas reticuladas, consiste em instalar as travessas de pavimento aparafusando-as às paredes de fundação ou à laje, sobre as quais se dispõem vigotas perimetrais (*rim joists*) e vigotas de pavimento (*floor joists*). Para abrir vazios ou vãos nos planos de pavimento (por exemplo para escadas) são utilizadas vigas de reforço (*headers*) e vigotas intermédias (*trimmers*), (CMHC, 2013a, p. 93) (cf. figura 218).



A travessa de pavimento é assente sobre o topo da parede de fundação que deve estar nivelada, ou deve sê-lo com recurso a uma base de argamassa. A travessa deve ainda ser colocada sobre um material impermeável com a mesma dimensão da travessa. As ancoragens devem ser realizadas por exemplo com parafusos de pelo menos 12,7mm (1/2") de diâmetro e espaçados não menos que 2,40m (8'). Em zonas mais expostas exige-se naturalmente um reforço da ancoragem (CMHC, 2013a, p. 93).

Nas soluções de espaço de serviço ou de cave, algumas vigotas de pavimento e algumas cargas dos pavimentos superiores podem ser suportadas no interior por outras vigas (sob as primeiras) que transmitem as cargas a pilares de madeira (ou metálicos)<sup>135</sup>. Os pilares estão normalmente espaçados de 2,40m a 3,00m (8' a 10'), variando esta dimensão em função da carga e da resistência das vigas que suportam. As sapatas para os pilares das caves devem ser dimensionadas em função de vários factores: o espaçamento entre colunas, o vão das vigas de pavimento, o número de pavimentos suportados e a pressão do solo.

As vigas principais de madeira, maciças ou de derivados de madeira são normalmente compostas de três peças de madeira maciça com a secção menor de 38mm (2" nominais) ligadas entre si a cada lado maior, de 89mm (3-1/2"), com pregos<sup>136</sup>. Em alternativa podem utilizar-se vigas *Glulam* LVL, PSL ou metálicas. O topo das vigas deve ter uma entrega de pelo menos 89mm (3-1/2") sobre paredes de alvenaria ou de betão e pilares. Para prevenir a deterioração dos topos das vigas de madeira localizadas ao nível do terreno ou abaixo deste deve efectuar-se o seu tratamento ou deve ser previsto o já referido espaço vazio de 12mm (1/2") nos topos e nas faces laterais. As vigas de madeira não tratadas, se estiverem 150mm (6") ou menos abaixo do nível do solo, devem ser separadas do betão através de uma membrana impermeável.

Quando há pé direito disponível na cave, as vigas principais encastram nas paredes de betão, alinhando-se a face superior com o topo da parede de betão. As vigas de pavimento que assentam sobre as vigas principais devem ter uma sobreposição recomendada de cerca de 300mm (12") no ponto de apoio. Quando for necessário, as vigotas de pavimento podem ser instaladas de nível com as vigas principais, sendo as ligações realizadas através de ligadores metálicos de suspensão. As vigotas de pavimento podem também ser suportadas por perfis de madeira (*ledger*) ligados às vigas principais. Estes perfis podem ter 38mmx64mm (2"x3" nominais) ligados à viga principal com dois pregos de 82mm (3 1/4") por cada vigota de pavimento suportada (CMHC, 2013a, p. 95).

#### **Ligação entre parede de fundação e pavimento**

A ligação da parede de fundação ao pavimento pode ser efectuada através de dois métodos fundamentais: O método da travessa de soleira e o método da vigota de pavimento embebida (cf. Figura 219).

<sup>135</sup> Utilizam-se correntemente colunas metálicas ajustáveis ("teleposts") com placas de suporte nas terminações que serão por sua vez aparafusadas às vigas. Os pilares de madeira de pelo menos 140mmx140mm (6"x6" nominais) podem ser maciços ou compostos com secções de madeira maciça de 38mm (2" nominais). Devem ser utilizados pelo menos pregos de 76mm (3") espaçados de 300mm (12") para ligar as várias secções (CMHC, 2013a, p. 94). A secção de um pilar de madeira deve ter a mesma largura que a viga que suporta e deve ter também uma secção quadrada para evitar torções no seu topo e na sua base. A viga deve ser aparafusada ao pilar, devendo na base do pilar ser utilizado um material impermeável (por exemplo, 0,15mm polietileno para fazer a separação com o betão).

<sup>136</sup> A pregagem não deve ter um espaçamento entre pregos superior a 450mm (18") em cada linha sendo os pregos finais afastados entre 100 a 150mm (4" a 6") do final de cada pilar. Podem ser realizados empalmes desde que respeitando as regras de segurança na sua localização em relação aos suportes e aos vãos.

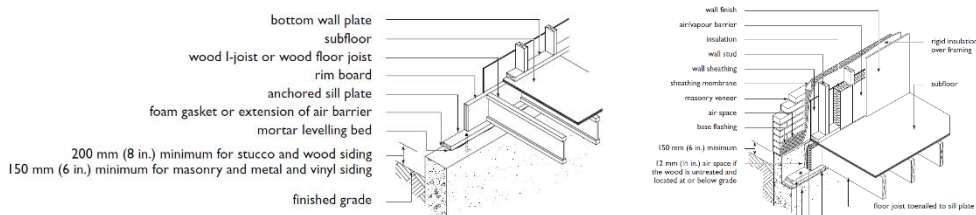


Fig. 219 - Ligações da estrutura de pavimento às fundações: método mais comum ("da travessa de soleira") e método alternativo ("vigota de pavimento embebida") com ressalto para cotas de pavimento mais baixas (CMHC, 2013a).

1 - O método da travessa de soleira<sup>137</sup> é o mais comum e pode ser utilizado em paredes de fundação de betão e de blocos de betão (cf. figura 219). Consiste na ancoragem da travessa de base à parede de fundação para suporte das vigas de pavimento e das vigotas perimetrais (*rim joists*). A travessa de base suportada pela parede de fundação deve estar acima do nível do solo pelo menos cerca de 200mm (8"), no caso de revestimentos de madeira ou estuque, ou cerca de 150mm (6"), no caso de outros revestimentos como a alvenaria ou o vinil (CMHC, 2013a, p. 98). A estanquidade entre a junta da travessa de soleira e do betão deve ser garantida através de uma camada de polietileno ou outro material apropriado, devendo em alternativa tratar-se a madeira. A ligação da travessa de soleira pode ser efectuada, por exemplo, embebendo no betão ligadores metálicos em "L" que depois são aparafusados, devendo-se ter especial atenção às exigências estruturais em zonas afectadas pelo vento e sismo. A maioria dos códigos regulamentares da América do Norte exigem ancoragens afastadas 1' (30cm) dos cantos e espaçadas a cada 6' (1,82m), pelo menos (Haun, 2008).

2 - O método da vigota de pavimento "embebida" (no betão) é menos utilizado e apenas ocorre com paredes de fundação moldadas *in situ*. As vigas principais, as vigas de pavimento e os lintéis são posicionadas antes de ser efectuada a betonagem. Neste caso, a viga de perímetro e as vigotas de pavimento ficam ancoradas no betão, devendo as bases e os topos das vigas ser tratadas quando são colocadas abaixo do nível do solo. As vigas de pavimento ficam "embebidas" pelo menos 2/3 da sua altura no betão. No caso de ser utilizado um revestimento exterior de alvenaria de tijolo (cf. figura 219), a parede de fundação terá um ressalto para o seu assentamento (CMHC, 2013a, p. 99).

### Vigotas de pavimento

As vigotas de pavimento são seleccionadas com o objectivo de responder às exigências de resistência, flexão e vibração, que constam dos regulamentos. São disponibilizadas tabelas que apresentam vãos (medidos entre as arestas interiores dos seus suportes) calculados para as dimensões dos elementos de madeira industriais disponíveis no mercado. As exigências de resistência asseguram que o pavimento resiste às cargas previstas, as exigências de flexão asseguram que a deformação do pavimento sob acção de cargas mais elevadas seja aceitável, evitando defeitos de construção (como a fissuração dos tectos); as exigências de vibração devem assegurar a suficiente rigidez dos pavimentos para que por exemplo sob a acção do movimento das pessoas, os objectos e as mobílias no interior das habitações se mantenham estáveis (CMHC, 2013a, p. 100).

<sup>137</sup> Nos casos em que seja necessário reduzir a cota do pavimento de entrada, pode-se fazer um ressalto na parede de betão, reduzindo-se a espessura da parede de fundação 90mm (3 1/2") (CMHC, 2013a, p. 97), não se devendo exceder 350mm na altura do sector reduzido. No caso, de ser utilizado um acabamento exterior de madeira ou de estuque, deve ser instalada sobre o plano superior do ressalto uma travessa de soleira para suporte da parede reticulada, prevendo-se depois outra travessa de soleira que assentará no plano inferior do ressalto da parede de fundação destinada a suportar as vigas de pavimento. Se for utilizado um revestimento de alvenaria de tijolo, o topo da parede de fundação suportará o tijolo e a parede reticulada assentará sobre o revestimento estrutural de pavimento (CMHC, 2013a, p. 98).

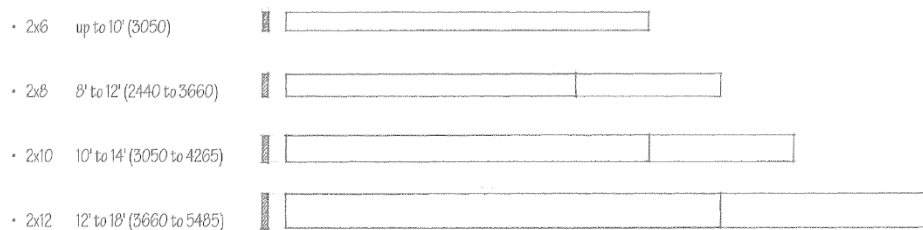


Fig. 220 - Vãos indicativos em função da secção das vigotas de pavimento (Ching, 2008).

Na América do Norte as secções das vigotas de pavimento têm normalmente 38mm de largura (2" nominais) e alturas de cerca de 140mm, 184mm, 235mm ou 286mm (6", 8", 10" ou 12") dependendo das cargas, dos vãos entre vigotas e das espécies e classes da madeira (cf. figura 220). As alternativas à madeira maciça são as vigotas de LVL, as treliças (*parallel chord trusses*) e as vigotas *I-joist*. As vigotas *I-joist* tornaram-se comuns na construção residencial porque vencem vãos maiores e a sua retracção é menor que a da madeira maciça. As vigotas *I-joist* típicas são de 241mm (9 1/2") e 302mm (11 7/8") e exigem detalhes específicos de instalação. Uma vez que a alma das vigotas *I-joist* é menos espessa que a espessura das vigotas de madeira maciça, as cargas verticais (por exemplo das paredes estruturais sobre elas) não são suportadas da mesma forma, por esse motivo deve ser sempre consultada a informação técnica específica providenciada pelos fabricantes (CMHC, 2013a, p. 100).

A disposição mais comum das vigotas de pavimento consiste num espaçamento de 600mm ou 400mm, mas para cargas maiores ou quando a espessura do pavimento tem que ser inferior, as vigas devem ter espaçamentos de 300mm (12"). Se a espessura do pavimento não for uma limitação, deverão ser utilizadas vigotas espaçadas de 600mm (24") numa disposição que se revela mais económica.

Embora os vãos máximos das vigas sejam determinados em função de vários factores (cargas aplicadas, secção, espaçamento das vigas entre si, espécies de madeira, classe estrutural e flexão considerada para o uso), Ching (2008, p. 4.27) fornece tabelas de pré-dimensionamento que permitem prever o vão a vencer para cada tipo de secção (cf. figura 220). Assim, os vãos limites serão: 10' (3,05m) para vigotas de 2"x6"; 8' a 12' (2,44m a 3,66m) para vigotas de 2"x8"; 10' a 14' (3,05m a 4,26m) para vigotas de 2"x10"; e 12' a 18' (3,66m a 5,48m) para vigotas de 2"x12". Como regra de pré dimensionamento, para estimar a altura da secção de uma vigota, divide-se o vão a vencer por 16. O mesmo autor refere que vigas de maior altura e mais afastadas são mais eficazes em termos de rigidez do que vigas de menor altura e menos espaçadas.

A maior eficácia das vigotas do tipo *I-joist* pode ser verificada comparando as tabelas de vãos indicativos do mesmo autor. Assim, para vigotas *I-joist* de banzos em LVL e alma em OSB, para uma altura de viga de 10" (255mm) o vão máximo é 4,87m. No caso de uma viga de 12" (305mm) o vão máximo é 5,79m. Para uma viga de 14" (355mm) o vão máximo é 6,70m e com uma viga de 16" (405mm) obtém-se um vão máximo de 7,620m (Ching, 2008, p. 4.33).

Quando uma parede portante se dispõe paralelamente à direcção das vigotas, esta deve ser suportada por uma vigota ou por uma parede portante no nível inferior. Nestes casos, normalmente exige-se que existam também paredes portantes dispostas perpendicularmente às vigotas de pavimento. Estas paredes não devem estar localizadas a uma distância superior a 900mm (36") do suporte das vigas de pavimento, (quando essas paredes não suportam um pavimento), ou a uma distância superior a 600mm (24") do suporte quando essas paredes suportam um ou mais pavimentos. Outras situações podem ser previstas desde que as vigas

sejam calculadas para suportar essas cargas concentradas (CMHC, 2013a, p. 102). As divisórias não estruturais paralelas às vigotas devem assentar sobre vigotas ou sobre zonas de tarugos. Os tarugos de madeira devem ter 38x89mm (2"x4" nominais) e devem ser espaçados no máximo 1,20m (4') (CMHC, 2013a, p. 102).

Quando for necessário efectuar aberturas no pavimento para escadas oulareiras (cf. figura 218), as vigotas laterais (*trimmer*) devem ser duplicadas se a dimensão das vigotas de topo (*header joists*) for superior a 800mm (32"). As próprias vigotas de topo (*header joists*) devem ser duplicadas quando forem superiores a 1,20m. Quando for necessário recorrer a vazios de maiores dimensões as vigotas laterais (*trimmer*) com mais de 2,00m (6'-6") de comprimento e as vigotas de topo (*header joists*) com mais de 3,20m (10' 6") devem ser sujeitas a cálculo (CMHC, 2013a, p. 102).

Quando as vigotas de pavimento apoiam numa viga ou em paredes interiores, deverão prolongar-se para lá do apoio, instalando-se depois bloqueadores entre as vigotas assim empalmadas (Haun, 2008). A torção das vigas pode ser reduzida através da instalação de tarugos, ou reforços na alma das vigas, ou ainda mediante a fixação dos tectos directamente nas vigas. Bignon e Critt-Crai (2003) referem que o espaçamento dos tarugos não deve ser superior a 40 vezes a espessura das vigotas, ou seja para vigotas com uma espessura de 38mm o espaçamento deveria ser cerca de 1,50m. Segundo o manual CWC (CMHC, 2013a), na ausência de tecto devem ser instalados reforços em zonas intermédias entre suportes e a distâncias não maiores de 2,10m (6'10"). Os reforços intermédios podem ser providenciados através dos seguintes métodos: tarugagem com secções de 19mmx64mm ou 38mmx38mm; ou reforços contínuos de 19x64mm, aparafusados na base das vigas, ou ainda o acumular de ambas as situações (CMHC, 2013a, p. 103). Através deste tipo de recursos, os pavimentos tornam-se mais rígidos e os vãos a vencer podem ser maiores. Em alternativa, pode-se recorrer aos produtos derivados de madeira como as vigas LVL, as vigas *I-joist* e as treliças (*parallel-chord trusses*).

### **Sub-pavimento**

As soluções de sub-pavimento abrangem em geral o contraplacado, o OSB, e eventualmente as réguas de madeira de encaixe macho-fêmea (de largura inferior a 184mm (8" nominais). As espessuras mínimas são definidas em tabelas, variando estas em função do afastamento das vigotas de pavimento. Por exemplo, para afastamentos de 600mm, o "OSB O-2" deve ter pelo menos 18,5mm de espessura, podendo ser reduzida para 15mm se o afastamento entre vigotas for de 400mm. Os painéis de contraplacado e OSB são utilizados como sub-pavimento de réguas de madeira, ou como combinação de sub-pavimento e base de pavimentos cerâmicos ou de camadas resilientes. Quando utilizados como combinação de sub-pavimento e base as juntas dos painéis devem ser suportadas por intermédio de elementos de reforço de pelo menos 38x38mm (2"x2" nominais) colocados entre as vigas de pavimento (cf. Figura 221), a não ser que os painéis permitam ligações do tipo macho fêmea (CMHC, 2013a, p. 103).

Os painéis devem ser instalados com a maior dimensão perpendicular às vigas de pavimento e com as juntas de topo alternadas e pregadas (segundo as arestas) com espaçamento entre pregagens de 150mm (6") ao longo das arestas e 300mm (12") nos suportes intermédios. A rigidez dos pavimentos pode ser reforçada através da aplicação de cola entre o topo das vigas de pavimento e os painéis de sub-pavimento. O adesivo, o sub-pavimento e as vigas actuam como uma estrutura contínua, reduzindo deste modo a flexão entre vigas adjacentes (cf. figura 221).

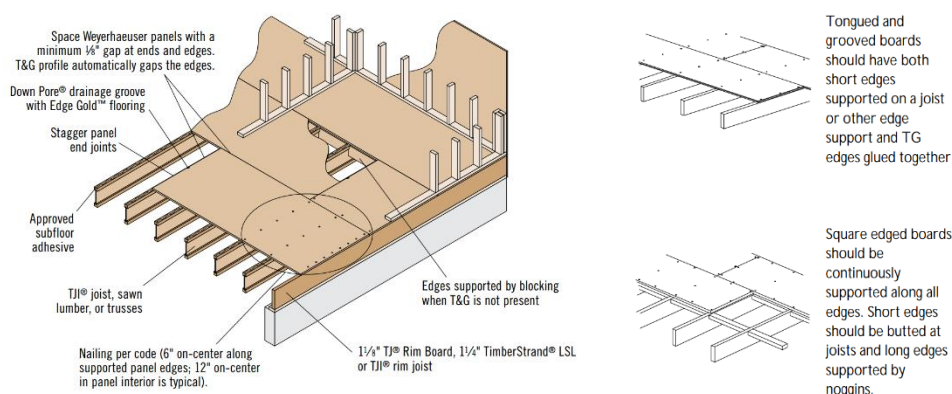


Fig. 221 - Exemplo de pregagem e colagem de placas OSB sobre vigas | Joist (Weyerhaeuser, 2015). Uso de placas com ou sem encaixe macho-fêmea (European Panel Federation, 2015).

Quando são utilizados materiais de acabamento vinílicos ou cerâmicos, os painéis que não têm juntas do tipo macho-fêmea devem ser cobertos com uma camada impermeável. Esta camada não será necessária quando as juntas dos painéis coincidirem com os topos das vigas. Os painéis de OSB e de contraplacado, utilizados devem ser sempre do tipo exterior (fabricados com adesivos resistentes à água).

Para as soluções que contemplam sub-pavimento de madeira maciça, utilizam-se em geral régua de 19mm (1" nominais) de espessura, podendo esta ser reduzida a 17mm quando as vigas são espaçadas com uma dimensão inferior ou igual a 400mm (16"). As juntas de topo devem ser localizadas sobre as vigas e devem ser desfasadas. As régua devem ser dispostas perpendicularmente ou a 45° em relação à direcção das vigotas de pavimento<sup>138</sup>, devendo ser cobertas com uma camada impermeável quando o acabamento previsto for do tipo resiliente (vinílico) (CMHC, 2013a, p. 103).

Como referência para pré-dimensionamento podem-se ter em conta as tabelas apresentadas por Ching (2008, p. 4.32), onde se determina a espessura das placas de OSB em função do espaçamento das vigotas que os suportam. Assim, com vigotas de pavimento afastadas 30cm, podem utilizar-se placas de 13mm e 16mm, com afastamentos de 50mm, podem utilizar-se placas de 16mm, 19mm e 22mm e com afastamentos de 60mm pode recorrer-se a espessuras de 19mm e 22mm. Nos casos, menos correntes, das vigotas de cobertura afastadas 80mm podem utilizar-se placas de 16mm, com afastamentos de 90mm as placas terão 16mm, com afastamentos de 1,00m terão 16mm, 19mm e 22mm, e finalmente com vigotas afastadas 1,20m podem utilizar-se placas de 19mm ou 22mm de espessura.

### Estrutura de pavimento em projecções

As vigotas de pavimento por vezes projectam-se para o exterior das paredes de fundação de modo a providenciar suporte para espaços adicionais nos pisos superiores ou para a solução típica dos *volumes designados por "bay Windows"* (cf. figura 222). Este tipo de consolas não deve exceder, em princípio os 600mm. Em qualquer caso esta regra não contempla projecções que suportam cargas para além de um piso. Se for necessário suportar cargas de pisos adicionais, deve ser efectuado um cálculo específico. Estas soluções exigem que os espaços entre as vigas sejam isolados termicamente, devendo a barreira de vapor ser colocada no lado quente do isolamento (CMHC, 2013a, p. 104).

<sup>138</sup> As régua de pavimento devem ser aplicadas com pelo menos dois pregos de 51mm (2") em cada suporte.

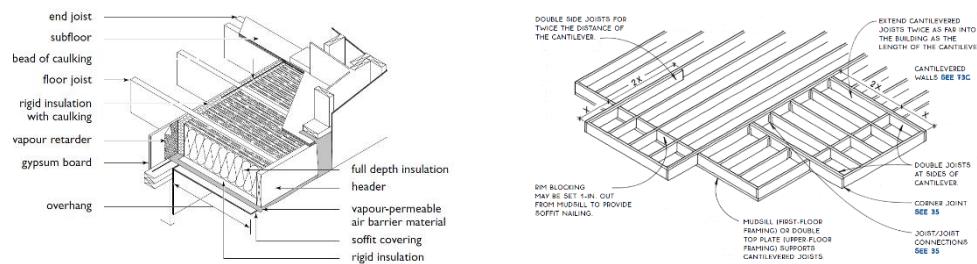


Fig. 222 - Projecções de pavimentos (CMHC, 2013a, p. 104) (Thalon, 2009).

### Revestimentos de pavimento

O mercado dos revestimentos de pavimento oferece uma grande variedade de produtos e materiais como a madeira, os laminados, os vinílicos, os cerâmicos e os têxteis. As exigências principais associadas a estes produtos são a durabilidade e a facilidade de limpeza. Os acabamentos de pavimento devem ser aplicados apenas depois dos acabamentos das paredes e dos tectos (CMHC, 2013a, p. 232). Em geral é necessário haver um sub-pavimento para o seu assentamento. No caso dos sub-pavimentos de régua de madeira maciça com pelo menos 19mm (3/4") de espessura, colocadas na perpendicular às vigas de pavimento, não é necessário instalar uma placa adicional, desde que as vigas inferiores tenham um afastamento até 400mm (16"). As juntas de topo das régua devem ser alternadas e localizadas sobre vigas. Se as régua se dispuserem paralelamente às vigas deve ser prevista necessariamente uma camada de base (CMHC, 2013a, p. 232).

No caso de acabamentos laminados, *parquets*, pavimentos resilientes, mosaicos cerâmicos e têxteis, deve ser aplicado um sub-pavimento, embora alguns revestimentos derivados de madeira não o necessitem. No caso dos pavimentos cerâmicos que são aplicados com adesivo, os topos do sub-pavimento deverão ter encaixes do tipo macho-fêmea ou outro meio de ligação sendo recomendada uma camada de base adicional. Os painéis de contraplacado ou OSB, de pelo menos 6mm (1/4"), servem normalmente como camada de base, aplicada sobre o sub-pavimento através de pregagem ou agrafagem, sendo as juntas preenchidas com vedantes elásticos. (CMHC, 2013a, p. 233).

No Canadá para os pavimentos em régua de madeira<sup>139</sup> recorre-se normalmente a espécies folhosas como a Bétula, o Bordo (Maple), a Faia e o Carvalho, utilizando-se também algumas resinosas como o Abeto ou a Tsuga (CMHC, 2013a, p. 232). Estes revestimentos de madeira não devem ser transportados para a obra até que o betão (da cave, no caso de existir) esteja curado e antes da finalização dos acabamentos dos painéis de gesso, esperando-se por uma altura em que o nível de humidade da obra esteja mais moderado. Os acabamentos devem ser mantidos num local seco até à instalação porque se forem instalados com uma percentagem de humidade elevada serão sujeitos a movimentos de retracção depois de secarem, podendo desenvolver aberturas nas juntas (CMHC, 2013a, p. 232).

Os acabamentos laminados com superfície de madeira ou de outro material e com uma base mais resistente, em geral de contraplacado, são utilizados frequentemente devido ao seu menor custo. O *parquet* é também mais económico devido à menor dimensão das peças. Os pavimentos resilientes (vinil e borracha) são normalmente instalados nas zonas com risco de derramamento de água e com maior teor de humidade. Neste tipo de espaços (ou noutros

<sup>139</sup> As régua de madeira são pregadas ao sub-pavimento na zona da ranhura fêmea, com os pregos a 45°, devendo deixar-se uma junta entre a primeira régua e a parede para evitar problemas devidos ao inchamento da madeira. A dimensão da junta variará em função da área do pavimento, sendo adoptados em geral de cerca de 6mm (ou a dimensão recomendada pelo fabricante). O rodapé cobrirá essa junta bem como todas as pregagens que forem necessárias junto à parede (CMHC, 2013a, p. 233).

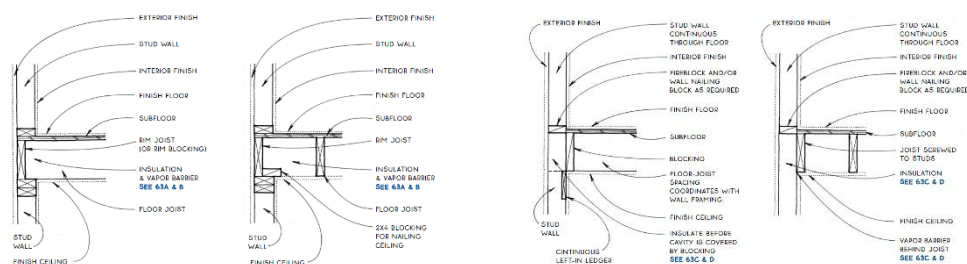


Fig. 223 - Encontro do pavimento com a parede exterior nos sistemas "platform frame" e "balloon frame" (Thalon, 2009).

mais sujeitas a desgaste, como as entradas ou perto das lareiras, são também aplicados mosaicos de cerâmica, de porcelana ou pedra sobre o sub-pavimento (normalmente sobre uma base, por exemplo de contraplacado) com adesivo ou betonilha de assentamento sobre uma tela apropriada (CMHC, 2013a, pp. 234-236).

### Pavimentos elevados

Os pavimentos elevados em madeira são semelhantes aos pavimentos térreos de madeira. A diferença reside na travessa em que assentam as vigotas de pavimento e a vigota perimetral, que no caso dos pavimentos térreos é uma travessa de soleira (*sill plate*) e nos casos dos pavimentos elevados é a travessa de topo (*top plate*) das paredes reticuladas do piso inferior.

#### 3.1.1.6 PAREDES - RETICULADOS

##### Paredes - Sistema Platform Frame

A construção com reticulados leves integra uma estrutura principal de componentes lineares e os componentes planos (OSB ou contraplacado) que combinados fornecem rigidez ao conjunto (cf. figura 224), e providenciam espaço para isolamento térmico e uma base de suporte para os acabamentos interiores e para os componentes exteriores (CMHC, 2013a, p. 15). As placas de revestimento fornecem a resistência horizontal necessária para enfrentar os esforços do vento e do sismo. Em áreas de risco elevado (vento e sismo), deve ser prevista a instalação de placas mais espessas, com intervalos menores entre pregagens. As paredes devem ter a espessura necessária para conter o isolamento térmico adequado à zona climática do lugar da obra. A espessura considerada deve também permitir integrar as tubagens de infraestruturas que passarem pelo interior das paredes (CMHC, 2013a, p. 15).

Toda a madeira utilizada nos reticulados deve ser classificada, não devendo a humidade dos componentes e dos elementos exceder os 19%. As paredes de reticulados incluem, para além dos montantes e das travessas de base e de topo, também os lintéis. Os montantes são os elementos verticais aos quais o painel de revestimento exterior e os acabamentos serão pregados. Os montantes são normalmente constituídos por secções de 38mmx89mm (2"x4" nominais) ou 38x140mm (2"x6" nominais), sendo o seu espaçamento mais comum os 400mm (16") ao centro, podendo ser alterado para 300mm ou 600mm (12" ou 24"), em função das cargas e de outras exigências como as de comportamento térmico.

O isolamento térmico é normalmente instalado nos espaços entre montantes, mas se o espaço não for suficiente para introduzir a espessura de isolamento necessária às condições do local, devem ser previstas secções maiores de montantes (recorre-se normalmente à secção de 38x140mm, ou seja de 2"x6"), podendo em alternativa usar-se paredes duplas ou uma camada de isolamento rígido no lado exterior da parede<sup>140</sup>. (CMHC, 2013a, p. 108). O

<sup>140</sup> Nestes casos é importante observar as exigências de controlo de vapor já que o isolamento rígido pode impedir a migração eventual de vapor para o exterior.



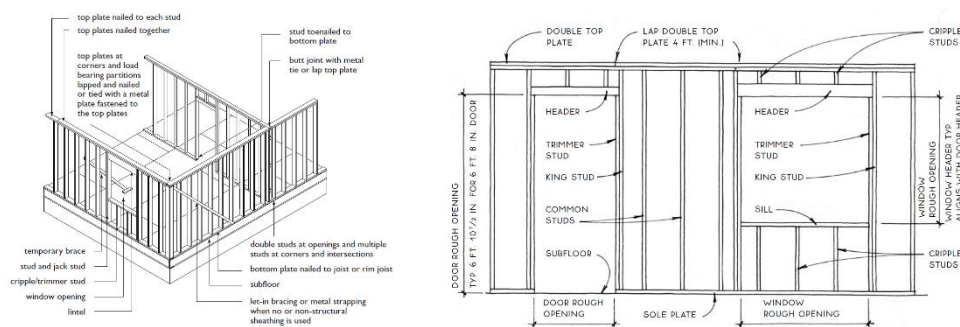


Fig. 224 - Paredes e componentes no sistema "platform frame" (CMHC, 2013a, p. 104) (Thalon, 2009).

isolamento adicional pode ser instalado entre ripas horizontais com secção de 38x38mm (2"x2" nominais) no lado interior dos montantes, ou aparafusado no lado exterior. (CMHC, 2013a, p. 108).

Os montantes são ligados às travessas de base e de topo que terão a mesma profundidade que os montantes. Se for utilizada uma base de betão no pavimento é recomendado que sejam utilizadas duas travessas de base para que haja uma superfície de pregagem inferior para fixar os acabamentos e em especial os painéis de parede. Essa segunda travessa de base é necessária principalmente quando são utilizados painéis de gesso que se pretende que tenham um contributo para a rigidez das paredes (CMHC, 2013a, p. 109). Sendo a laje de pavimento de betão, a travessa de base deve ser sujeita a tratamento químico (Haun, 2008, p. 42). No caso das paredes portantes, a não ser que as vigotas de cobertura (*rafters*) ou as asnas (*roof truss*) sejam posicionadas sobre os montantes ou com um afastamento a estes inferior a 50mm (2"), a travessa de topo deve ser também duplicada (procedimento que é o corrente). Esta segunda travessa de topo normalmente sobrepõe-se à primeira travessa, com as juntas desfasadas nos cantos e na intersecção de paredes, conferindo assim uma ligação mais robusta<sup>141</sup>. (CMHC, 2013a, p. 109).

Os lintéis são elementos horizontais colocados sobre janelas, portas ou outras aberturas, de modo a transmitirem horizontalmente as cargas para os montantes que definem os vãos. São normalmente construídos com pelo menos dois componentes com espessura de 38mm (2" nominais), pregados de forma a constituírem uma unidade única. A altura de um lintel é determinada em função da largura do vão e das cargas verticais suportadas, disponibilizando-se tabelas de valores prescritivos para determinar estas dimensões. Para vãos inferiores a 3,00m, deve instalar-se para além dos dois montantes que definem o vão, dois montantes de ombreira (*jack stud*) de cada lado para suportar o lintel. Para aberturas maiores que 3,00m (10'), os montantes de ombreira devem ser duplicados (CMHC, 2013a).

Ching (2008, pp. 5,45) apresenta uma tabela simplificada de pré-dimensionamento de vãos para lintéis de vãos em paredes que suportem um piso. Assim, duas secções de 2"x6" permitem um vão até 4' (1,22m), duas secções de 2"x6" suportam vãos entre 4' e 6' (1,22m e 1,83m), duas secções de 2"x10" suportam vãos entre 6' e 8' (1,83m e 2,44m), duas secções de 2"x12" suportam vãos entre 8' e 10' (2,44m e 3,04m). Em paredes que suportem dois pisos, os lintéis de duas secções de 2"x10", suportam vãos entre 4' e 6' (1,22m e 1,83m) e lintéis de duas secções de 2"x12", suportam vãos entre 6' e 8' (1,83m e 2,44m).

O método corrente de construir com reticulados de madeira consiste em fazer corresponder a cada pavimento a plataforma onde ocorrem os trabalhos de construção do respectivo piso. A

<sup>141</sup> Quando as duas travessas não são dispostas desta forma, deve haver uma ligação entre elas com placas de aço galvanizado de 0,91mm de espessura, com 75mm (3") por 150mm (6").

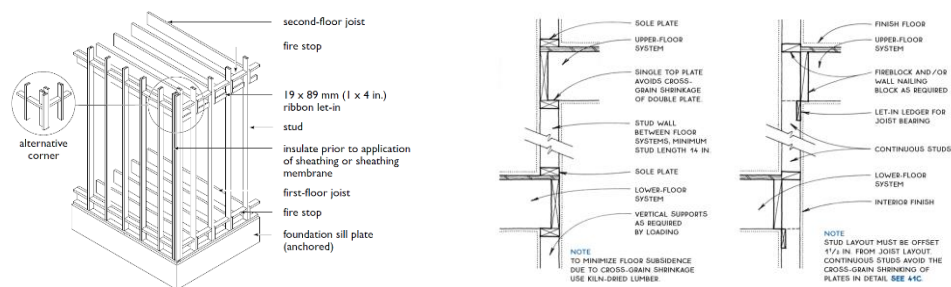


Fig. 225 – Perspectiva do “balloon frame” (CMHC, 2013a, p. 104) e cortes mostrando a diferença entre o “platform frame” e o “balloon frame” na situação de encontro de pavimentos, em lados opostos, com uma parede (Thalon, 2009).

primeira tarefa consiste ligação das travessas de topo e de base aos montantes, através de pregagem<sup>142</sup>, formalizando-se assim o reticulado dos painéis de parede. As placas de revestimento das paredes podem ser aplicados antes da estrutura reticulada ser erguida, providenciando-se assim desde logo uma maior rigidez às paredes. As placas como o contraplacado e o OSB resistem a esforços horizontais, contribuindo para manter as paredes na esquadria. Outro tipo de revestimentos, como as fibras de vidro rígidas não resistem a esses esforços, havendo nos casos em que se recorre a essas soluções necessidade de reforço adicional mediante travamento diagonal entre os montantes (CMHC, 2013a, p. 110).

Os sectores de paredes reticuladas depois de montadas no pavimento, são erguidas e pregadas às travessas de base e ao sub-pavimento e mantidos no lugar através de elementos de travamento temporário. Estes travamentos devem ter a sua projecção maior na vertical. Assim que as paredes estiverem montadas e aprumadas, são pregadas nos cantos e nas intersecções. Quando for utilizado o polietileno como barreira de ar, deve ser instalada uma fita deste material entre as paredes interiores e as paredes exteriores e também entre a primeira travessa de topo das paredes interiores e a segunda travessa de pavimento para posterior ligação e selagem da restante barreira de ar (CMHC, 2013a, p. 110).

No antigo sistema *balloon-framing* (cf. Figura 225) tanto os montantes como as vigotas de pavimento assentavam na travessa de soleira, os montantes eram pregados às travessas de soleira e as vigotas de pavimento eram pregadas aos montantes. Nos pavimentos suspensos, as vigotas de pavimento assentavam numa viga perimetral com secção igual ou superior a 19mmx89mm (1"x4" nominais) que por sua vez era encaixada num negativo realizado nos montantes. As vigotas de pavimento eram também pregadas aos montantes e as vigas perimetrais eram pregadas adicionalmente aos montantes que encontravam (CMHC, 2013a, p. 114). Sempre que se recorre a este sistema, como os espaços entre montantes não são interrompidos por travessas de parede, como ocorre no sistema *platform-frame*, devem ser colocadas barreiras ao fogo nos níveis do pavimento e do tecto. Esta barreira, destinada a eliminar vazios contínuos ao longo dos pisos, pode ser realizada com elementos de madeira de 38mm (1-1/2") de espessura.

### Paredes interiores

As divisórias interiores podem ter uma função estrutural adicional à de compartimentação. Quando são necessárias paredes estruturais interiores, estas são montadas da mesma forma que as paredes exteriores. Os montantes de madeira têm normalmente secções de 38mmx89mm (2"x4"), espaçados de 400mm (16") ao centro, podendo os espaçamentos ser alterados com as mesmas dimensões já referidas para as paredes exteriores, dependendo das cargas suportadas e do tipo e espessura dos acabamentos utilizados. Por vezes podem

<sup>142</sup> Com dois pregos de pelo menos 82mm (3-1/4") de comprimento-

ser utilizados montantes com secção de 38mmx89mm (2"x4" nominais) com a face maior paralela à parede. Este recurso é por vezes utilizado em divisórias menos exigentes (as que encerram *closets* por exemplo, poupando-se assim algum espaço útil (CMHC, 2013a, p. 110).

Desde que as divisórias interiores não suportem cargas verticais, podem ser utilizados montantes únicos nas aberturas das portas, sem necessidade de montantes de ombreira adicionais. O topo dos vãos pode ser coberto com uma peça única de lintel de 38mm (2" nominais) de madeira com a mesma profundidade dos montantes (CMHC, 2013a, p. 110).

Nos cantos e nas intersecções com as paredes exteriores são utilizados normalmente montantes múltiplos de pelo menos três elementos de modo a oferecer uma boa ligação e também um suporte de pregagem para os acabamentos interiores e para os painéis de revestimento exteriores. Qualquer que seja a disposição, os cantos e intersecções devem ser sempre montados com pelo menos dois montantes (CMHC, 2013a, p. 111). A ligação entre paredes interiores e exteriores deve ser realizada através de elementos adicionais sempre que o montante da divisória não coincida com o montante da parede exterior. Para os acabamentos de tecto, nas junções da parede com o tecto e sempre que as divisórias se desenvolvam paralelamente às vigas de tecto, deve ser criado um suporte para pregagem (por exemplo com uma peça com uma secção de 38mmx140mm (2"x6") colocada sobre a travessa de topo (CMHC, 2013a, p. 112).

#### **Painéis de parede portantes**

A resistência aos esforços horizontais, em zonas com elevada exposição ao vento ou ao sismo, pode ser conferida através da montagem de sectores de "painéis rígidos" (*braced wall panels*). Um "painel rígido" é uma porção de parede onde o revestimento de travamento é concebido e instalado com o objectivo de conferir resistência a esforços horizontais. A necessidade destes painéis pode resultar de condicionantes do próprio projecto, como por exemplo a existência de uma área ampla de janelas numa das fachadas da construção. Neste caso, devem ser instalados sectores de paredes rígidas que compensem a fragilidade introduzida por esses vazios (CMHC, 2013a, p. 113). As paredes rígidas (*braced walls*) devem ser sobrepostas entre sucessivos pavimentos e devem coincidir em sectores de parede com uma dimensão de pelo menos 1,20m (4') (CMHC, 2013a, p. 113)<sup>143</sup>.

Para as caves e para os espaços vazios de serviço (*crawl spaces*), as paredes perimetrais de alvenaria ou de betão oferecem normalmente a resistência horizontal suficiente para que os sectores de paredes interiores possam terminar no pavimento acima da cave ou do espaço de serviço, sem necessidade de continuidade (CMHC, 2013a, p. 113).

Os alpendres fechados (usuais nas casas tradicionais) ou outros espaços construídos fora da estrutura principal do edifício não incorporam normalmente paredes rígidas porque em regra são muito envidraçados. Estas estruturas não serão problemáticas: se não se estenderem demais para o exterior da estrutura principal; se não suportarem um pavimento superior; e se a sua cobertura providenciar resistência horizontal através da sua continuidade com a cobertura do edifício principal (com vigas de cobertura afastadas no máximo 400mm (16")) (CMHC, 2013a, p. 114).

<sup>143</sup> Há um limite para o número de pisos que podem ser utilizados seguindo as regras prescritivas das paredes rígidas. O número de pisos permitido é limitado se forem utilizados materiais de construção pesados como coberturas cerâmicas ou betonilhas nos pavimentos (CMHC, 2013a, p. 113)

## Paredes de elevado isolamento

As “paredes de elevado isolamento” (*highly insulated walls*) têm como objectivo aumentar os níveis de eficácia em termos de consumo energético e de conforto para além do que é exigido nos regulamentos. Em climas frios têm sido utilizadas com sucesso paredes com duplos reticulados. Outra solução testada e cada vez mais corrente consiste em aplicar isolamento rígido sobre o plano exterior da estrutura da parede, aumentando o isolamento térmico e reduzindo as pontes térmicas causadas pelos elementos estruturais. As pontes térmicas ocorrem quando a maior condutividade dos elementos de madeira (relativamente ao isolamento térmico da caixa-de-ar) conduzem o calor selectivamente através da envolvente construída do edifício, podendo reduzir consideravelmente a resistência térmica das paredes (CMHC, 2013a, p. 115).

## Revestimentos exteriores

Os revestimentos estruturais (painéis de OSB ou contraplacado) são pregados directamente sobre a estrutura de montantes proporcionando uma base de pregagem para os acabamentos exteriores. Estes painéis de revestimento podem ser eliminados em algumas situações, nomeadamente nas empenas das coberturas. Utilizam-se como revestimentos de estrutura o contraplacado e o OSB, mas também a madeira maciça, os painéis de fibras e os painéis de gesso (CMHC, 2013a, p. 148).

Os painéis de OSB são fabricados em dimensões de 1,2m (4') por 2,4m (8'), devendo a sua espessura ter pelo menos 7,9mm (5/16") para montantes afastados até 600mm (24") e 6,35mm (1/4") para montantes afastados até 400mm (16"). A escolha da espessura do painel deve ter por base, para além do afastamento dos montantes estruturais, também a sua classificação (CMHC, 2013a, p. 148).

Os revestimentos de contraplacado e OSB são normalmente aplicados na vertical e pregados à estrutura das paredes antes destas serem montadas na sua posição definitiva<sup>144</sup>. Este procedimento garante a estabilidade geométrica dos elementos construtivos, evitando a necessidade, pelo menos de parte, do contraventamento temporário, acelerando a construção. Normalmente os vãos de janelas são cobertos com os painéis, sendo cortados apenas antes do início da instalação das janelas. Quando os revestimentos são aplicados horizontalmente, as juntas verticais devem ser desfasadas (CMHC, 2013a, p. 149).

A instalação das placas de revestimento estrutural na zona da travessa de soleira deve ser realizada de modo a que estas cubram também o topo das vigas de pavimento, podendo este processo ser efectuada de duas formas diferentes. Um dos métodos consiste em cobrir a zona sob a travessa de base da parede com uma peça adicional de painel de revestimento. Outro processo consiste em utilizar placas de revestimento de maiores dimensões, por exemplo de 2,74m (9') que possam cobrir a parede completa. Este processo é preferencial porque proporciona uma redução das juntas, diminuindo assim os riscos de infiltração, promovendo também uma maior rigidez estrutural de todo o conjunto (CMHC, 2013a, p. 149).

Os painéis de contraplacado para revestimento devem ter uma espessura mínima de 7,5mm (5/16") para montantes afastados de 600mm (24") e 6mm (1/4") para montantes até 400mm (16"). São fabricados normalmente com 1,22m (4') de largura e 2,44m (8') ou 2,74m (9') de altura. Os painéis de fibras de madeira (*fibreboard*), cada vez menos utilizados, devem ter

<sup>144</sup> Devem prever-se juntas de 2mm a 3mm entre placas OSB para absorver a expansão do material que ocorre por inchamento. A pregagem deve ser realizada de modo a que o espaçamento entre pregos não seja superior a 150mm (6") ao longo das arestas e superior a 300mm (12") ao longo dos suportes (montantes) intermédios (na área interior do painel) (CMHC, 2013a, p. 149).

pelo menos uma espessura de 11,1mm (7/16") para montantes afastados de 600mm (24") e 95mm (3/8") para montantes de 400mm (16"), sendo normalmente impregnados com matérias asfálticas para aumentar a resistência à água (CMHC, 2013a, p. 149). Os painéis de gesso devem ter pelo menos uma espessura de 12,7mm (1/2") para montantes afastados 600mm (24") e 9,5mm (3/8") para montantes afastados 400mm (16"). As dimensões normais são 1,22m (4') de largura e 2,44m (8') de altura. Estes painéis são aplicados normalmente na horizontal e aparafusados aos montantes e travessas (CMHC, 2013a, p. 150). Os revestimentos com réguas de madeira maciça (*lumber*) não devem ter uma secção inferior a 17mm (11/16") por 140mm a 286mm (6 a 12" nominais). As réguas são pregadas a cada montante estrutural, com dois pregos para larguras de 140 a 184mm e três pregos para larguras de 235 a 286mm (10 to 12")<sup>145</sup>. Os revestimentos com materiais isolantes não são considerados estruturais, embora se utilizem, em algumas circunstâncias, os painéis rígidos ou semi-rígidos de fibra de vidro com uma membrana exterior permeável ao vapor e resistente à água. (CMHC, 2013a, p. 150).

Aplica-se normalmente sobre o revestimento estrutural exterior uma membrana de protecção que é parte da segunda linha de defesa contra a entrada de água da chuva<sup>146</sup>, podendo em certos casos formar o componente primário da barreira de ar. Uma vez que no Inverno a humidade pode condensar no interior da parede, a membrana de revestimento deve ser capaz de permitir a sua difusão para o exterior para prevenir a degradação da madeira (CMHC, 2013a, p. 151).

São utilizados vários tipos de membrana de protecção. As telas de "papel impregnado em betume" (*building paper*) produzidas em rolos de 915mm (36") são aplicadas sobre o revestimento em linhas horizontais, começando na base da parede. O "papel" é agrafado ao revestimento da estrutura e cada faixa é colocada com sobreposição alternada sobre a faixa anterior (CMHC, 2013a, p. 151). O *spun bonded polyolefin* (SBPO), é um tipo de tela transpirante conhecida vulgarmente como "housewrap" e é produzido em rolos de 2,47m (9') de largura por 45,00m de comprimento. É aplicado em faixas horizontais que cobrem a altura de um piso, sendo agrafadas aos painéis de revestimento. O SBPO é flexível e resistente o suficiente para ser dobrado nas zonas de vãos e ser integrado nos meios de gestão da humidade, nas portas e janelas (CMHC, 2013a, p. 151). As membranas auto-adesivas (*peel-and-stick*) são utilizadas em áreas com um risco elevado de exposição à água. Estas membranas são produzidas em rolos de 915mm (36"), sendo suficientemente resistentes e flexíveis para formar barreiras de soleira e para preencher as juntas de outras membranas e revestimentos (CMHC, 2013a, p. 151). Também são utilizadas membranas líquidas que são normalmente colocadas sobre o painel de revestimento estrutural, oferecendo um adesivo e uma barreira de humidade para o isolamento de poliestireno quando este é utilizado como material de isolamento exterior (EIFS) (CMHC, 2013a, p. 151).

### Acabamentos exteriores

Os acabamentos exteriores, para além das funções estéticas e de durabilidade, fazem parte da estratégia de controlo da entrada de água. Para além dos revestimentos realizados com réguas de madeira maciça, as opções disponíveis são muito variadas: painéis de

<sup>145</sup> Em áreas mais susceptíveis ao vento extremo ou sismo, são necessários pregos de maiores dimensões. As juntas de topo devem ser colocadas no centro dos montantes e estas devem ser desfasadas nas linhas sucessivas de montagem. As réguas devem cobrir os topos das vigotas de pavimento e as travessas de soleira. Os revestimentos de réguas são aplicados tanto na horizontal como na diagonal, oferecendo esta solução maior rigidez estrutural, embora seja mais exigente em termos de trabalho, comportando também um maior desperdício de material (CMHC, 2013a, p. 150).

<sup>146</sup> A primeira linha de defesa é o acabamento exterior.

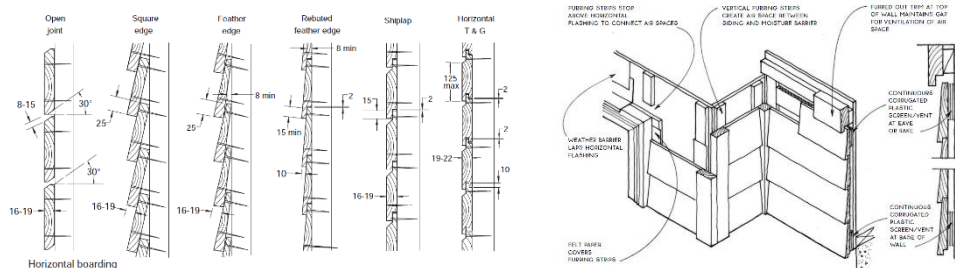


Fig. 226 - Tipos de acabamentos exteriores com perfis horizontais (TRADA, 2008) e exemplo de encontro de fachadas com caixa de ar (Thalon, 2009).

contraplacado, painéis de HDF, e “escamas” ou soletos de madeira (*shingles ou shakes*). Na América do norte são também comuns os acabamentos alternativos com metal, vinil<sup>147</sup>, fibrocimento, estuque e alvenaria (tijolo ou pedra) (CMHC, 2013a, p. 151).

A maior parte dos revestimentos para acabamento exterior pode ser afectada na sua durabilidade pela humidade, devendo ser mantidos pelo menos 200mm (8”) acima do solo e pelo menos 50mm (2”) afastados de qualquer superfície de cobertura adjacente. Associado a cada revestimento devem-se prever meios de estanquidade especialmente nas juntas e sobre as janelas e portas (CMHC, 2013a, p. 151).

A aplicação horizontal dos perfis de madeira é efectuada após a instalação da membrana de revestimento, sendo em climas húmidos e com precipitação acentuada (por exemplo nas regiões litorais do Canadá) prevista uma caixa-de-ar através da instalação de uma estrutura com sarrafos de suporte (*strapping*) (cf. figura 226). A instalação começa com a montagem das peças de remate nos cantos e nos vãos e com o perfil inicial. A primeira linha de revestimento tem lugar normalmente 150mm a 200mm acima do solo, sendo depois aplicados os perfis em camadas sucessivas até ao plano de intradorso do beirado. As juntas (verticais) de perfis adjacentes devem ser alternadas e afastadas mais de 600mm (24”), devendo ser observadas as dimensões de juntas e sobreposições fornecidas pelos fabricantes (CMHC, 2013a, p. 152). A aplicação na vertical faz-se também sobre uma estrutura de sarrafos (com contra-ripado) ou directamente sobre a membrana de revestimento. No caso de aplicação de revestimentos verticais devem-se prever juntas de 10mm (3/8”) entre os topos dos sarrafos da estrutura horizontal de suporte para permitir a drenagem da água por gravidade e a sua expulsão para o exterior (CMHC, 2013a, p. 152).

No Canadá quando se recorre à madeira maciça (cf. figura 226) recorre-se principalmente ao Cedro e ao Pinho, livre de nós soltos, de fissuras e de anéis descolados. É comum utilizar-se madeira tratada por pressão ou madeira acabada e pintada em fábrica. Os acabamentos dos perfis devem cobrir totalmente cada peça (frente e verso) para reduzir a absorção de água. Na altura da montagem, os perfis devem ter um conteúdo de humidade similar àquele a que vão ser expostos, ou seja entre 12% e 18%, dependendo das regiões e do clima (CMHC, 2013a, p. 153).

A aplicação horizontal dos perfis de madeira<sup>148</sup> é realizada de baixo para cima, sobre sarrafos de 6mm (1/4”) de espessura. Cada faixa sucessiva deve ser sobreposta pelo menos 25mm

<sup>147</sup> Os perfis de metal e de vinil são fabricados em várias formas e padrões. Apenas a parte superior de cada perfil é pregada, sendo o bordo inferior encaixado na parte superior do perfil inferior. Existem peças especiais de remate de intradorso, de empenas e de vãos (CMHC, 2013a, p. 151). Os perfis de HDF são fornecidos com grande diversidade de cores e a aplicação é semelhante aos de metal e vinil.

<sup>148</sup> As régua biseladas devem ter uma espessura de topo inferior de pelo menos 12mm (1/2”) para alturas de perfil de 184mm (8”) (ou inferiores) e 14,3mm (9/16”) para alturas superiores a 184mm (8”). A espessura do topo superior não deverá ser inferior a 5mm (3/16”) (CMHC, 2013a, p. 154). Os perfis do tipo macho-fêmea são normalmente de 184mm de altura ou menos. O primeiro perfil sofre uma pregagem à face perto da aresta fêmea e uma pregagem oblíqua sobre a aresta macho. Cada régua

(1") sobre a faixa anterior. A distribuição ao longo do plano da parede deve ser planeada antes do começo da instalação de modo a determinar as dimensões da régua exposta e da sobreposição, devendo sempre respeitar-se o mínimo de sobreposição (ou seja, o máximo de exposição). Deve-se tentar acertar o conjunto dos perfis através também da colocação de um perfil inteiro sobre o topo das janelas (CMHC, 2013a, p. 154).

Os perfis para aplicação vertical têm normalmente 14,3mm (9/16") de espessura e podem ser aplicados segundo diferentes métodos. Os perfis não devem ter uma largura maior do que 286mm (12" nominais), devendo ser aparafusados a revestimentos estruturais de madeira de 14,3mm de espessura ou de contraplacado e OSB de 12,5mm ou ainda sobre uma estrutura de sarrafos horizontais<sup>149</sup> (CMHC, 2013a, p. 155).

Quando se utiliza o método dos perfis sobrepostos alternadamente, os perfis mais próximos da parede são normalmente maiores que os perfis de fechamento, sendo ligados com uma fila de pregos perto do centro de cada perfil. Os perfis de fecho são colocados de modo a sobrepor-se às arestas do perfil inferior pelo menos 25mm (1"), devendo ser ligados com uma fila de pregos ao centro. Devem ser utilizados elementos (sarrafos) de madeira verticais sob os perfis para servirem de suporte à pregagem (CMHC, 2013a, p. 155). O método com perfis desiguais sobrepostos do tipo mata-juntas (*board and batten*) recorre a perfis de base com 184mm (8" nominais) de largura ou menos, aplicados com as arestas afastadas pelo menos 6mm (1/4") e ligadas com uma linha de pregagem próxima do centro de cada perfil. Um perfil mata-juntas é utilizado (*batten*) cobrindo as arestas em pelo menos 12mm (1/2") sendo submetido a uma pregagem entre os dois perfis principais. Este processo permite que todos os perfis se ajustem às mudanças de teor de humidade sem fissurarem. Uma vez que o perfil mata-juntas também serve para prevenir que as arestas dos perfis encurvem para o exterior, a pregagem deve ser pouco espaçada (CMHC, 2013a, p. 155).

O remate dos cantos pode ser realizado recorrendo a diversos métodos. Para os revestimentos horizontais é comum utilizar-se: as juntas a meia esquadria (difíceis de executar de forma correcta), os perfis metálicos em cada encontro de perfis, ou as régua vertical de canto. Os perfis verticais de canto têm secções de 25mm ou 38mm (1" ou 1-1/2") dependendo da espessura dos revestimentos utilizados<sup>150</sup>.

Os painéis de contraplacado, utilizados como material de acabamento, são fabricados com superfícies planas ou caneladas (*grooved*) e são geralmente aplicados com a maior dimensão na vertical. As juntas entre painéis podem ser planas ou realizadas com entalhe em V, podendo ainda ser cobertas com mata juntas. Alguns contraplacados têm uma face laminada com um papel impregnado em resina que oferece uma superfície resistente à humidade, à fissuração e às manchas (CMHC, 2013a, p. 155). Se não for utilizada uma caixa-de-ar, o contraplacado pode ser aplicado directamente sobre a membrana de revestimento exterior à estrutura de montantes da parede, funcionando como painel de revestimento estrutural.

---

sucessiva é colocada sobre a precedente e pregada obliquamente sobre a aresta fêmea (CMHC, 2013a, p. 154). Os perfis com ressalto devem ter pelo menos 14,3mm (9/16") de espessura e 184mm (8" nominais) ou menos em altura. Existem diversos perfis alternativos (de sobreposição ou encaixe). Devem-se alternar as juntas nas faixas adjacentes e os topos devem ser selados, devendo as faixas adjacentes ser firmemente ligadas para evitar a entrada de água e a consequente degradação (CMHC, 2013a, p. 155). Uma forma de evitar fissuras e rachas consiste em realizar a pregagem de cada perfil acima da sobreposição de modo a que cada prego não perfure simultaneamente os dois perfis sobrepostos (CMHC, 2013a, p. 155).

<sup>149</sup> Sempre que a estrutura de montantes da parede tenha um espaçamento inferior a 400mm (16") a secção dos sarrafos deve ter pelo menos 19mmx64mm (1x3" nominais). Quando o espaçamento vai até aos 600mm (24" nominais) a secção terá pelo menos 19mmx89mm (1x4" nominais). As juntas topo a topo (*butt joints*) nos perfis de madeira devem ser realizadas com cortes a 45° (*mitred*) e sobrepostos para prevenir a entrada de água nas juntas (CMHC, 2013a, p. 155).

<sup>150</sup> As superfícies de canto devem ser cobertos com mástique antes da aplicação dos perfis. Quando o acabamento das paredes exteriores é executado com painéis, estes formam uma junta de encaixe de canto a meia madeira (*lapped joint*), o mesmo ocorrendo quando são utilizados revestimentos de acabamento com perfis verticais de madeira (CMHC, 2013a, p. 157).



Quando a direcção das fibras da face do painel é perpendicular à estrutura de montantes, a espessura mínima utilizada é de 6mm (1/4") para espaçamento de montantes até 400mm (16") e 8mm (5/16") para espaçamentos até 600mm (24"). Quando as fibras são instaladas paralelamente aos suportes, a espessura mínima é de 8mm (5/16") ou 11mm (7/16") para espaçamento de montantes até 400mm e até 600mm, respectivamente<sup>151</sup>.

Os painéis de elevada densidade (HDF) são produzidos em painéis com vários acabamentos e podem ser aplicados sobre paredes<sup>152</sup> com ou sem revestimento estrutural (no caso de não ser necessária uma caixa de ar de protecção à chuva). A espessura mínima dos painéis deve ser pelo menos de 6mm (1/4") para espaçamento de montantes inferiores a 400mm (16"), devendo ser prevista uma junta de pelo menos 2 ou 3mm (1/8") entre os painéis (CMHC, 2013a, p. 156).

As *shingles*, escamas ou soletos de madeira estão disponíveis em comprimentos de 400mm, 450mm e 600mm (16", 18" e 24") e podem ser fornecidos já com pintura ou velatura. Sob as *shingles* deve ser utilizado contraplacado, OSB ou régua de madeira maciça (CMHC, 2013a, p. 157). A qualidade das *shingles* pode ser verificada mediante a sua classe. A primeira classe é composta por *shingles* do cerne e grão paralelo (resultante de corte radial). A segunda classe consiste em *shingles* com topos limpos de nós, mas aceitando defeitos na sua face oculta. A terceira classe inclui *shingles* com mais defeitos, sendo estas apenas indicadas para a aplicação sob outras *shingles* (CMHC, 2013a, p. 157). As *shingles* de primeira classe são produzidas em diversas dimensões que variam dos 63,5mm aos 350mm (2-1/2" a 14"). As *shingles* uniformizadas (conhecidas como *dimension shingles*) estão disponíveis em larguras de 100mm, 125mm ou 150mm (4", 5", 6"). Tabelas prescritivas indicam a dimensão das exposições e as espessuras das *shingles* obtidas por fractura mecânica<sup>153</sup> (CMHC, 2013a, p. 157).

Os acabamentos estucados, com uma grande variedade de texturas<sup>154</sup>, são outra opção muito comum. Normalmente o estuque é aplicado em três camadas (duas de base e uma de acabamento), sobre uma malha. (CMHC, 2013a, p. 157). O estuque deve ser mantido pelo menos 200mm (8") acima do nível do solo excepto quando é aplicado sobre betão ou alvenaria. Em zonas muito expostas ao vento e à chuva deve ser criada uma caixa-de-ar entre a membrana de revestimento e o estuque. Essa caixa-de-ar deve ser ventilada através de uma abertura no topo de pelo menos 10mm, e outra abertura na base, devendo ambas ser protegidas da entrada de água. (CMHC, 2013a, p. 158). As bases de aplicação<sup>155</sup> do estuque

<sup>151</sup> As faces dos topos devem ser protegidas com pintura ou seladas antes da montagem. Deve ser deixado um espaço de 2mm a 3mm (1/8") entre os lados e topos dos painéis. As juntas verticais devem ser cobertas com vedante ou cobertas com mata-juntas. As juntas horizontais devem ser protegidas com perfis ou sobrepostas através de junta de sobreposição com pelo menos 25mm (1") (CMHC, 2013a, p. 156).

<sup>152</sup> Os painéis devem ser ligados aos suportes com pregos resistentes à corrosão com pelo menos 51mm (2") espaçados não mais de 150mm (6") ao longo das arestas e 300mm (12") ao longo dos suportes intermédios.

<sup>153</sup> As juntas das *shingles* quando são aplicadas com uma única camada (aplicação mais usual) devem ter uma dimensão de pelo menos 40mm (1-9/16") não devendo as juntas das filas sucessivas ser alinhadas. Quando aplicadas em duas camadas (por motivos estéticos por exemplo, para obtenção de linhas de sombra mais pronunciadas), utilizam-se *shingles* de uma classe inferior sob as *shingles* expostas. As *shingles* expostas devem estender-se cerca de 12mm (1/2") abaixo da escama de base. Nestes casos, é permitida uma maior dimensão de exposição da escama. As juntas devem ter os mesmos 40mm de dimensão (CMHC, 2013a, p. 157). As *shingles* devem ser ligadas com pregos resistentes à corrosão. As *shingles* até 200mm (8") requerem apenas dois pregos e as maiores que essa dimensão exigem três. Deve-se fazer a pregagem cerca de 20mm afastada das arestas e 25mm (1") acima da linha de exposição para aplicações de uma escama e 50mm (2") para aplicações duplas (CMHC, 2013a, p. 157).

<sup>154</sup> Também há diversas opções para as tintas, devendo estas ser permeáveis ao vapor.

<sup>155</sup> A aplicação deve ter em conta a membrana de revestimento que é aplicada sobre o revestimento estrutural que deve ser dobrada 100mm (4") nas arestas, sendo todos os vãos vedados. A base de estuque consiste em duas camadas tendo a primeira 6mm de espessura que embeberá totalmente a rede de base. Esta primeira camada deve ser nivelada para receber a segunda camada. O tempo de cura dependerá da temperatura exterior. Recomenda-se considerar até 48 horas de cura antes de aplicar a segunda camada. Antes de aplicar a segunda camada, a primeira deve ser humidificada para assegurar uma boa

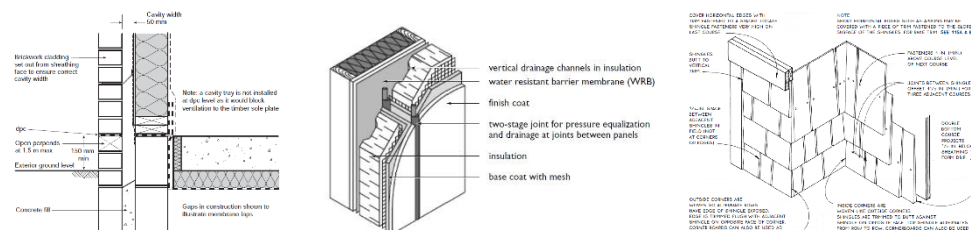


Fig. 227 - Acabamentos exteriores com alvenaria de tijolo (TRADA, 2008), sistema EIFS (CMHC, 2013a) (External Insulation Finish System) e shingles (Thalon, 2009).

podem ser reforçadas com redes galvanizadas colocadas sobre a tela de revestimento com as juntas da rede sobrepostas pelo menos 50mm (2"). Os cantos devem ser especialmente reforçados estendendo e dobrando a rede com 150mm de sobreposição<sup>156</sup>. (CMHC, 2013a, p. 158).

Quando o revestimento utilizado é a alvenaria (cf. figura 227) deve recorrer-se a um elemento de suporte (*supporting ledge*) ou deve prever-se uma fundação com uma dimensão adicional para acomodar pelo menos 25mm (1") entre a alvenaria e a membrana de revestimento. As fundações com isolamento integrado (ICF - *Insulating Concrete Form*) devem utilizar um reforço no seu topo para suportar o peso da alvenaria (CMHC, 2013a, p. 159). Deve haver uma tela de vedação que se estende desde o topo da fundação para o exterior da parede, subindo pelo menos 150mm (6") e dobrando sob a tela de revestimento da parede<sup>157</sup>.

As paredes isoladas pelo exterior conhecidas como sistema "Capoto", ETICS ou "*Exterior Insulation and Finish System*" (EIFS) integram o isolamento térmico com um acabamento do tipo estuque (cf. figura 227). No entanto, o sistema *EIFS* difere da solução de estuque antes descrita porque formam um conjunto de componentes compatíveis entre si, desenvolvidos como um todo integrado. Os sistemas *EIFS* incorporam um painel de isolamento ligado mecanicamente ou com adesivo, uma base reforçada com uma rede aderida ou fixada ao isolamento, um acabamento por vezes com um primário e toda uma série de perfis e elementos de tratamento de juntas e drenagem compatíveis (CMHC, 2013a, p. 160). O sistema *EIFS* é aplicado sobre bases preparadas com barreiras à humidade, ar e vapor devendo seguir-se as indicações particulares de cada fabricante. Este sistema proporciona as seguintes vantagens: uma barreira térmica contínua, leveza, resistência à entrada de água e flexibilidade. No entanto apresenta limitações quanto à combustibilidade, resistência, compatibilidade entre elementos, e potencial de manchas diferenciais (CMHC, 2013a, pp. 161, 162).

### Revestimentos e acabamentos interiores

O revestimento de acabamento das paredes interiores mais comum é o painel de gesso cartonado, sendo o contraplacado, o HDF e as régua de madeira também utilizados

presa. A segunda camada deve ter 6mm (1/4"), de espessura e deve ser curada pelo menos durante 48 horas devendo secar pelo menos 5 dias antes de aplicar a camada final. Esta camada deve ser também humidificada sendo depois aplicada a camada final com pelo menos 3mm (1/8"). Em tempo seco e quente, o estuque novo deve ser mantido húmido. Em climas frios cada camada de estuque deve ser mantida a uma temperatura de pelo menos 10°C durante 48 horas depois da aplicação (CMHC, 2013a, p. 158).

<sup>156</sup> Os ligadores galvanizados podem ser pregos ou agramos e devem ser afastados 150mm verticalmente e 400mm horizontalmente ou 100mm verticalmente e 600mm horizontalmente (deverá haver pelo menos 20 ligadores por metro quadrado de parede). Se o revestimento estrutural não for OSB, contraplacado ou madeira maciça, os ligadores devem penetrar nos montantes e travessas pelo menos 25mm.

<sup>157</sup> Devem ser utilizados ligadores metálicos resistentes à corrosão na ligação da alvenaria aos montantes. As propriedades da argamassa de assentamento mais adequada podem ser obtidas em tabelas prescritivas. Devem ser deixadas aberturas de ventilação e drenagem afastadas não menos de 800mm na base, bem como sobre as janelas e as portas. Estas aberturas podem ser feitas através da omissão da argamassa nas juntas da alvenaria ou inserindo nelas tubos de PVC (CMHC, 2013a, p. 160). A alvenaria montada durante tempo frio deve ser protegida até a argamassa curar, devendo a temperatura ser mantida acima dos 5°C pelo menos 24h depois da instalação (CMHC, 2013a, p. 160).

ocasionalmente (CMHC, 2013a, p. 227). O acabamento em painéis de gesso é o mais empregue devido à rapidez de instalação, baixo custo e resistência ao fogo. São fabricados painéis com características adicionais de resistência ao fogo e à água, sendo também fornecidos pelos fabricantes vários acessórios auxiliares da instalação, nomeadamente os perfis de remate de juntas e de cantos (CMHC, 2013a, p. 227).

Os painéis de gesso são compostos de uma camada de gesso entre duas camadas de papel. As dimensões normalizadas são 1,22m (4') de largura e comprimentos a partir de 2,44m (8'). As arestas ao longo do comprimento são adelgaçadas numa das faces para receber as fitas de mata juntas. A espessura mais utilizada para painéis de gesso é 12,7mm (1/2"), sendo esta a dimensão mínima para aplicar sobre montantes afastados de 600mm (24"). Embora não seja comum, podem ser utilizados painéis de 9,5mm (3/8") perpendicularmente aos montantes quando estes têm 400mm (16") de afastamento. Nos tectos, quando são aplicados directamente sobre os elementos estruturais, a maior dimensão é orientada na perpendicular às vigas de pavimento ou de cobertura. Quando os painéis são aplicados sobre um ripado de sarrafos com secção de 19mmx89mm (1"x4" nominais) em madeira maciça, a maior dimensão é paralela às vigas de pavimento ou de cobertura (CMHC, 2013a, p. 228)<sup>158</sup>.

#### 3.1.1.7 COBERTURA - RETICULADOS

A cobertura deve ser dimensionada para resistir às cargas do vento e da neve e do seu peso próprio, devendo-se contar também com a eventual instalação de painéis solares térmicos ou fotovoltaicos. Devem-se utilizar vigas ou asnas que possibilitem integrar isolamento no tecto, nos pontos de intersecção entre paredes e cobertura, prevendo-se também uma adequada ventilação (CMHC, 2013a, p. 15). Os espaços de sótão com sistemas de aquecimento ou arrefecimento devem ser separados dos espaços sem condicionamento através de isolamento térmico e barreiras de ar e vapor.

A cobertura deve integrar barreiras de ar e de vapor para prevenir a acumulação de humidade na estrutura de madeira e no isolamento térmico, devendo prever-se a respectiva ventilação para remover a humidade proveniente dos espaços termicamente condicionados. No Canadá, a maioria das habitações unifamiliares é construída com asnas prefabricadas, integrando um espaço de ático não condicionado termicamente, mas ventilado. O tecto sem esteira (*catedral*) e as coberturas planas não integram espaços de ático, mas contemplam espaços ventilados acima do isolamento para controlo da humidade (CMHC, 2013a, p. 118).

As coberturas inclinadas tendem naturalmente a eliminar a água mais eficazmente que as coberturas planas ou de baixa inclinação. As coberturas inclinadas variam normalmente de 1:6 a 1:1. A inclinação da cobertura condiciona e é condicionada pelas exigências dos vários materiais de acabamento tendo em vista a garantia da estanquidade do sistema. As *shingles* de asfalto muito utilizadas na América do Norte exigem por exemplo uma inclinação mínima de 1:6 (CMHC, 2013a, p. 118). As dimensões das vigas de cobertura e das asnas para as várias inclinações e espécies de madeira, bem como para as várias cargas podem ser obtidas através da consulta de tabelas prescritivas (CMHC, 2013a, p. 119).

<sup>158</sup> Nas paredes é mais comum aplicarem-se os painéis na horizontal porque as juntas ficam a uma altura mais fácil de tratar e acabar. As arestas dos painéis devem sempre ficar localizadas sobre suportes. Os painéis são ligados aos componentes de madeira através de pregos ou parafusos. São produzidos parafusos especiais, sendo estes normalmente aparafusados com espaçamentos de 300mm ao centro (12") tanto nos limites como nos suportes intermédios. Com montantes ou ripados espaçados a menos de 400mm esta distância pode ser aumentada para 400mm. Nos casos em que os painéis de gesso contribuem para as exigências de travamento horizontal em paredes contraventadas expostas a risco de vento forte e sismo, o espaçamento das pregagens não deve ser maior que 200mm (8"). Em certas situações pode ser necessário aplicar duas placas de gesso para responder às exigências de segurança contra incêndio e de controlo acústico (CMHC, 2013a, p. 230).

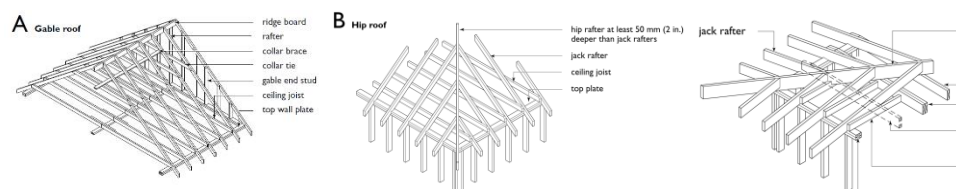


Fig. 228 - Coberturas de duas águas, quatro águas e cobertura plana (CMHC, 2013a).

### Coberturas inclinadas

De entre as coberturas inclinadas, a cobertura de apenas duas águas é a mais simples de construir porque pode ser construída integralmente com asnas normalizadas. As coberturas podem no entanto assumir geometrias mais complexas, adicionando-se frequentemente mansardas para providenciar iluminação, ventilação e, espaços adicionais. A configuração de quatro águas (*hip roof*) recorre a vigas de cobertura comuns, aparafusadas a uma viga de cumeeira com vigas do plano da tacaniça a aparafusarem nas vigas de rincão (cf. figura 228).

As asnas (*trusses*) prefabricadas são normalmente o componente mais utilizado na construção de coberturas residenciais embora por vezes estas sejam produzidas em obra. As asnas prefabricadas oferecem inúmeras vantagens: são fabricadas com um controlo de qualidade elevado, reduzem os resíduos de construção e aumentam a rapidez do processo de fechamento da envolvente construída. Adicionalmente proporcionam uma superfície para aplicação dos painéis de revestimento, uma superfície para o material de revestimento do tecto e espaço para o isolamento térmico<sup>159</sup>.

Na maioria dos casos, as asnas são dimensionadas para vencer vãos de parede a parede exterior sem apoios intermédios. Assim a compartimentação interior e o projecto tornam-se mais flexíveis porque as divisórias podem ser dispostas com menos condicionantes estruturais. A ventilação do espaço de ático é normalmente obtida através de entradas de ar no bordo inferior dos beirais da cobertura e através da cumeeira (*ridge*)<sup>160</sup> (CMHC, 2013a, p. 120).

As asnas com vãos superiores a 6m (20') de vão requerem equipamentos de elevação para montagem em obra, sendo as asnas menores normalmente instaladas com recursos básicos. As asnas de empena são colocadas em primeiro lugar e travada no solo e na parede. Cada asna adicional é elevada e colocada em posição, geralmente com um afastamento de 600mm (24") em relação à anterior, pregada às travessas de topo e travada temporariamente. Quando todas as asnas estão apuradas e posicionadas efectua-se o travamento permanentemente. Os travamentos consistem em elementos colocados nos planos exteriores da cobertura formados pelas asnas em linhas diagonais e travamentos longitudinais adicionais no plano exterior e interior das asnas, segundo a prescrição dos fabricantes<sup>161</sup> (CMHC, 2013a, p. 122).

Quando se utilizam coberturas com componentes individuais montados em obra, as secções e características dos componentes podem ser obtidas através da consulta de tabelas prescritivas. Essas tabelas baseiam-se em cálculos estruturais pelo que as exigências de eficiência energética podem requerer maiores dimensões de modo a que seja disponibilizado espaço para isolamento térmico adicional.

<sup>159</sup> As "asnas de pernas elevadas" (*raised heel truss*) oferecem um espaço suplementar para o isolamento (com uma dimensão vertical na zona de intersecção com as paredes exteriores de 300mm (12") ou mais), sendo muito utilizadas devido às exigências de eficiência energética (CMHC, 2013a, p. 120).

<sup>160</sup> Deve prever-se uma barreira de ar contínua e uma barreira para vapor para ser aplicada no lado inferior das asnas antes das compartimentações interiores serem montadas

<sup>161</sup> A rigidez da cobertura é aumentada quando são aplicados os painéis de revestimento.

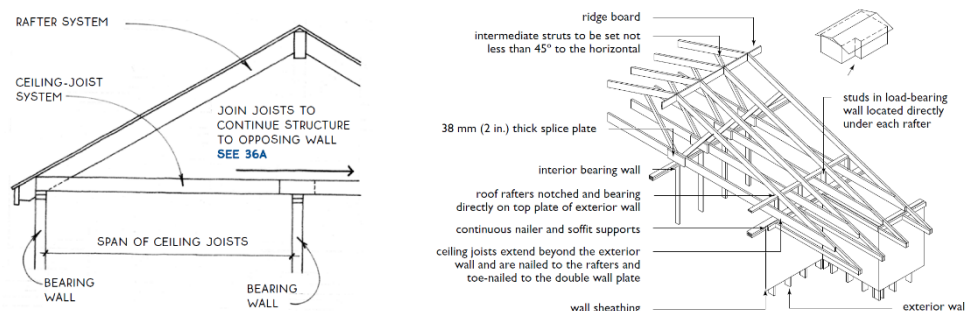


Fig. 229 - Cobertura com componentes fabricados em obra e caso especial de cobertura com viga travessa (CMHC, 2013a).

As vigotas de tecto, para além da função estrutural, ligando as paredes exteriores opostas e travando as vigotas da cobertura, são utilizadas também para suportar os acabamentos. Quando as vigotas de tecto suportam também cargas de pavimento, estas podem ser dimensionadas de acordo com tabelas prescritivas das “vigotas de pavimento” (CMHC, 2013a, p. 122). As vigotas de tecto devem ser montadas antes das vigotas de coberturas (ou asnas) para prevenir que estas deformem as paredes sobre as quais se apoiam. As vigas de tecto são utilizadas para amarrar (através de pregagem) as faces inferiores das vigas de cobertura com inclinações de 1:3 ou mais. Para coberturas de quatro águas em que as vigas do plano de tacaniça são perpendiculares às vigas de tecto podem prever-se vigotas adicionais perpendiculares às principais. Quando for necessário, as vigotas de tecto devem ser empalmadas no centro do vão através de um terceiro elemento ou através da sua sobreposição e pregagem (CMHC, 2013a, p. 123).

Para além da montagem das vigotas de cobertura directamente sobre as travessas de topo das paredes, pode ainda ser efectuada a montagem sobre uma viga-travessa (cf. figura 229) colocada sobre as vigas de tecto, ou sobre paredes portantes de reduzida altura montadas sobre as travessas de topo das paredes exteriores. Este último processo é utilizado normalmente quando algumas porções de paredes formam um recesso em relação ao perímetro normal da construção (CMHC, 2013a, p. 125).

Para suportar o encontro das vigotas de cobertura opostas é utilizada uma viga de cumeeira (*ridge board* ou *ridge beam*). As vigotas devem ser montadas em pares e pregadas a esta viga de cumeeira ou travessa de topo. Os pares de vigotas devem ser colocadas de forma alinhada, mas no caso de ser necessário criar um desfasamento, este não deve ter uma dimensão maior que a sua espessura<sup>162</sup> (CMHC, 2013a, p. 125).

Uma cobertura que tem uma inclinação inferior a 1:3 deve ser verticalmente suportado na cumeeira através de uma viga de cumeeira com 38mmx140mm (2x6” nominais), suportada em intervalos de 1,20m (4’) por montantes de 38mmx89mm (2’x4’ nominais). Pode ser utilizada em alternativa à viga de cumeeira uma parede portante (CMHC, 2013a, p. 125). Normalmente são montados suportes intermédios auxiliares para reduzir os vãos das vigas de cobertura, permitindo reduzir assim também as suas secções.

Para vigotas em coberturas com inclinação superior ou igual a 1:3, o suporte intermédio é normalmente dado pelas “linhas de ligação” (*collar tie*) com secções de 38mmx89mm (2”x4” nominais) pregadas a cada par de vigas, próximas da cumeeira. Uma vez que estes componentes estão sujeitos à compressão e a encurvamento, as linhas com mais de 2,40m (8’) devem ser ligadas com um elemento de travamento (*colar brace*) com uma secção de

<sup>162</sup> Esta situação ocorre quando as vigas de tecto estão desfasadas ao longo da largura do edifício, por se ter feito um empalme por sobreposição lateral e por ser necessário manter o alinhamento das vigas de cobertura com as vigas de tecto.

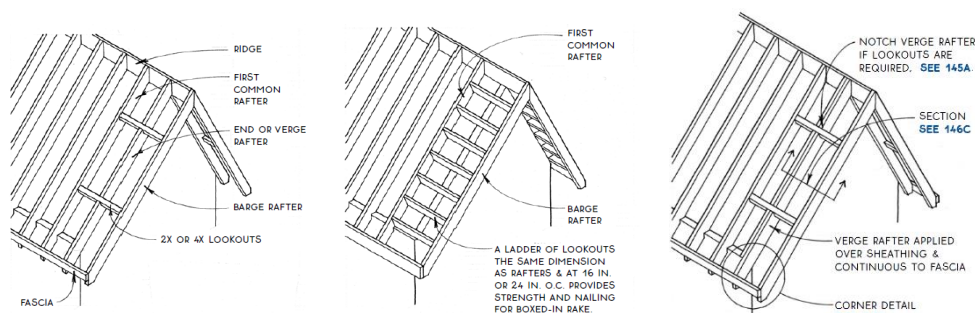


Fig. 230 - Projecções da cobertura na empena (Thalon, 2009).

19x89mm (1'x4' nominais) na perpendicular às vigas e paralelo à linha de cumeeira (CMHC, 2013a, p. 126).

Para coberturas com inclinações inferiores a 1:3 normalmente constroem-se pequenas paredes estruturais com uma travessa de topo onde assentam as vigas. Podem ser utilizados também montantes intermédios, verticais ou inclinados, para suportar vigas em coberturas mais inclinadas. Neste caso os montantes, de 38x89mm (2"x4"), são pregados à face lateral de cada viga, devendo pousar sobre uma divisória portante. O ângulo de qualquer montante não deve ser inferior a 45° com o plano horizontal (CMHC, 2013a, p. 126).

As vigas de cobertura que em projecção horizontal são perpendiculares às vigas de tecto podem ser suportadas em pontos intermédios por pequenas paredes pousadas sobre uma viga instalada entre as vigas de tecto. Para vigas de laró (*valley rafter*) podem também ser instaladas vigas de suporte perpendiculares às vigas de pavimento que recebem os esforços das primeiras através de montantes. As vigas de aresta (rincão e laró) devem ter uma profundidade com mais 50mm (2") que as vigas comuns de cobertura oferecendo assim um contacto maior com as vigas de cobertura que as intersectam (*jack rafters*) (CMHC, 2013a, p. 126).

Na realização de trapeiras, devem duplicar-se as vigas que no plano da cobertura, correspondem ao vazio criado. Os topos das vigas de laró (*valley rafters*) da trapeira são suportados por uma travessa (*header*) colocada perpendicularmente às vigas de cobertura. O método de construção mais corrente consiste em instalar os painéis de revestimento da cobertura antes da estrutura da trapeira ser montada, cortando-se depois os painéis no plano dos elementos estruturais da trapeira em redor do vazio. São instaladas sobre os painéis de revestimento de cobertura travessas de base (neste caso inclinadas) suportando os montantes laterais (CMHC, 2013a, p. 127).

### Empenas e projecções

Depois de instalada a estrutura da cobertura, montam-se os elementos da empena. Os montantes em empenas, sem acabamentos interiores podem ser instalados com a dimensão maior da secção paralela à parede. Os topos dos montantes devem ser cortados em ângulo, em função do angulo das vigas de cobertura à qual são ligados e devem ser pregados à travessa da parede inferior. Quando as projecções da cobertura sobre a empena são inferiores a 300mm (12"), o término da cobertura é realizado normalmente com uma vigota suspensa (*rake rafter ou barge rafter*). Sobre o plano da viga de cobertura que fica de nível com o plano de parede da empena é colocada uma faixa de madeira de 19mm (3/4" nominais) para servir de suporte ao tecto exterior. Perpendicularmente à consola, instalam-se os bloqueadores espaçados 600mm (24") entre si, sendo utilizados também para suportar o tecto exterior (CMHC, 2013a, p. 128).

Quando a projecção da cobertura é superior a 300mm (12") para além da parede devem ser suportados por vigotas perpendiculares ao plano de parede ("lockouts"), normalmente com a mesma secção que as vigotas de cobertura e espaçados 600mm (cf. figura 230). Estes elementos de consola deverão ter normalmente uma dimensão projectada para o interior igual à dimensão projectada para o exterior (CMHC, 2013a, p. 129).

### **Coberturas de baixa inclinação**

As coberturas de baixa inclinação por apresentarem uma maior dificuldade de drenagem devem ser construídas com especiais cuidados de estanquidade do que as coberturas inclinadas. As secções das vigotas de tecto (ceiling joists) que neste caso são também vigotas de cobertura (rafters) podem ser obtidas também através de tabelas prescritivas. Normalmente as vigotas em madeira maciça não têm a profundidade suficiente para integrar a necessária ventilação da estrutura nem para incorporar o nível de isolamento térmico adequado. Neste caso, devem ser previstas vigotas especiais ou componentes derivados de madeira (CMHC, 2013a, p. 129).

A inclinação das vigotas de cobertura pode ser a correspondente à inclinação da cobertura, sendo neste caso os painéis de revestimento e o acabamento final simplesmente colocados sobre as vigas, devendo ser prevista pelo menos uma inclinação de 1:50 para a eficaz drenagem. Em alternativa, a inclinação pode ser obtida através da introdução de elementos em forma de cunha no topo das vigas ou sobre as paredes portantes (CMHC, 2013a, p. 129).

Quando existem vigotas em consola que se projectam para o interior numa dimensão maior do que a dimensão correspondente a um espaço e meio relativamente à dimensão do afastamento entre vigotas (por exemplo 90cm se as vigotas de tecto tiverem um afastamento de 60cm entre si), deve-se duplicar a vigota à qual os topos das vigas de projectadas se ligam (CMHC, 2013a, p. 129).

### **Ventilação da cobertura**

Deve ser prevista adequada ventilação no espaço da cobertura sobre o isolamento térmico porque o vapor de água acumulado nos espaços de sótão e sob as coberturas planas terá tendência a condensar no interior dos componentes, principalmente na estação de aquecimento. A ventilação dos espaços internos da cobertura é importante também porque quando as telas de cobertura são muito resistentes ao vapor, a sua migração para o exterior não se consegue efectuar.

Durante a estação fria, em climas com neve, a perda de calor através do isolamento de cobertura combinada com a exposição ao sol pode conduzir ao derretimento da neve nas zonas centrais da cobertura mas não nas zonas projectadas para o exterior. Assim, a água não é eliminada para o exterior porque encontra uma barreira de gelo acumulada ao nível dos beirados (principalmente quando estes se projectam em consola). Para evitar que a água se infiltre para o interior da cobertura, deve ser prevista uma solução integrada de estanquidade, isolamento e ventilação<sup>163</sup> sob os painéis de revestimento estrutural, devendo-se conseguir manter, na estação fria, à superfície uma temperatura homogénea, impedindo a neve de derreter diferencialmente. Assim, deve ser prevista a ventilação do espaço sobre o isolamento térmico através de entradas e saídas de ar (CMHC, 2013a, p. 130).

<sup>163</sup> As coberturas com inclinações superiores a 1:6 devem ter uma área desobstruída para ventilação de pelo menos 1/300 da área de tecto medida no plano horizontal. Para coberturas com inclinações inferiores a 1:6, esta relação deve ser pelo menos de 1/150. As grelhas de ventilação de cobertura poderão ser localizadas nas empenas, nos beirados e nas cumeeiras (eave type), mas devem ser uniformemente distribuídas, com pelo menos 25% da área localizada nas zonas inferiores de entrada de ar e 25% localizada nas zonas superiores de saída de ar (CMHC, 2013a, pp. 130-131).



Se for utilizado isolamento mineral entre as vigas de cobertura, deve ser previsto um espaço de ventilação<sup>164</sup> de pelo menos 63mm (2-1/2")<sup>165</sup> entre o topo do isolamento e a face inferior do painel de revestimento. Este espaço pode ser obtido através da colocação de madres ou elementos de 38x64mm (2x3" nominais) no topo das vigotas de cobertura, em posição perpendicular a estas. Estas madres podem ser cortadas de modo a providenciar a necessária inclinação em coberturas planas. Se for instalado isolamento rígido adicional sobre as placas de revestimento (exterior), com uma espessura calculada para evitar a temperatura de condensação sobre a placa de revestimento, nos meses mais frios, o espaço interno da cobertura não necessita ser ventilado (CMHC, 2013a, p. 131).

### Revestimentos estruturais

Utilizam-se os revestimentos de OSB, os contraplacados ou as réguas de madeira para aplicação sobre as vigas de cobertura ou asnas servindo de base para a montagem dos acabamentos proporcionando ao mesmo tempo o travamento horizontal da estrutura. A orientação do grão (das fibras) das faces exteriores das placas de revestimento deve ser colocado na perpendicular à direcção das vigas de cobertura e com as juntas desfasadas, tendo em vista um mais eficaz travamento do conjunto (CMHC, 2013a, p. 136). Para prevenir o encurvamento das placas em caso de inchamento deve ser deixada uma junta de 2mm a 3mm (1/8") entre placas (CMHC, 2013a, p. 137).

A espessura necessária das placas a ser utilizada em cada caso específico pode ser consultada em tabelas prescritivas, estando dependente do espaçamento das vigas de cobertura (ou das asnas) e da forma de ligação dos painéis à estrutura. Para prevenir danos nos painéis, quando estes são de reduzida espessura, as juntas devem ser apoiadas adicionalmente com elementos de secção de 38mmx38mm (2"x2" nominais) pregados entre os elementos de estrutura da cobertura, ou em alternativa podem ser colocados entre as placas clips metálicos em H (CMHC, 2013a, p. 137).

No caso de revestimento com painéis de réguas de madeira, estas podem ser colocados com ou sem espaçamento entre si, devendo em qualquer das situações, alternar-se as suas juntas. As réguas têm normalmente espessura de 19mm (3/4" nominais) podendo ser reduzida a 17mm (11/16") quando a estrutura das vigas tem um espaçamento igual ou inferior a 400mm nominais<sup>166</sup> (16") (CMHC, 2013a, p. 137). Para uma cobertura de *shingles*, as réguas de madeira podem ser espaçadas (ao centro) num dimensão igual à dimensão exposta das *shingles*. Este método utilizado frequentemente em climas húmidos permite o movimento de ar e a secagem das *shingles* entre ciclos de humedificação, reduzindo assim o risco de degradação (CMHC, 2013a, p. 138). Devem prever-se medidas de protecção à entrada de água na cobertura, através de membranas que minorem os eventuais efeitos do já referido fenómeno de bloqueio devido ao gelo e neve.

<sup>164</sup> As entradas de ventilação não devem permitir a penetração de água da chuva, de neve ou de insectos. Quando se entender que os respiradouros são potenciais pontos de entrada de humidade, deve ser introduzida uma grelha ou um deflector para reduzir o fluxo de ar (CMHC, 2013a, p. 131). Os materiais utilizados nas grelhas de ventilação deverão ser resistentes à corrosão. A não ser que os áticos sejam espaços muito reduzidos, deve ser previsto um acesso de visita ao seu interior através de uma tampa de acesso com pelo menos 0,32m<sup>2</sup> (3.4 sq. ft.), com todas as dimensões superiores a 500mm (20") (CMHC, 2013a, p. 131).

<sup>165</sup> Quando não são utilizadas deflectores (baffles) ou elementos separadores para ventilação, este espaço deve ter pelo menos 63mm (2 1/2"). Se se utilizarem deflectores de ventilação, a dimensão pode ser reduzida a 25mm (1") (CMHC, 2013a, p. 130).

<sup>166</sup> As réguas com comprimentos inferiores a 184mm (8" nominais) de largura são pregadas aos elementos de estrutura com pelo menos dois pregos de 51mm (2") por elemento estrutural. Em zonas de elevadas cargas de vento, o comprimento dos pregos deve ser aumentado para 63mm (2 1/2") (CMHC, 2013a, p. 137). As réguas com largura maior que 286mm (12" nominais) não devem ser utilizadas como revestimento.

## Revestimentos de acabamento

No Canadá utilizam-se com frequências as *shingles* de asfalto como acabamento em coberturas inclinadas, havendo também o recurso a metal pré-acabado, aço galvanizado ou alumínio<sup>167</sup>. Embora com menos frequência utilizam-se também as telas, as *shingles* de madeira ou metal e os revestimentos de betão ou de cerâmica<sup>168</sup>. Nas coberturas planas utiliza-se normalmente as telas e a grilha. As inclinações mínimas e máximas para os diferentes tipos de coberturas são apresentadas em informação técnica fornecida pelos fabricantes.

Para *shingles* de asfalto com aplicação normal, a inclinação mínima é de 1:3, com a aplicação especial a inclinação mínima é 1:6, para *shingles* de madeira é 1:4, e para *shingles* de madeira seccionadas por fractura 1:3. As *shingles* de asfalto têm normalmente 310mmx95mm (12"x36") ou 335mmx1000mm (13-1/4"x39-3/8"), tendo a dimensão exposta 130mm ou 145mm<sup>169</sup>.

As *shingles* de madeira são normalmente executadas em madeira de Cedro vermelho ou branco porque o seu cerne tem elevada durabilidade e reduzida retracção (podendo também receber tratamento específico com biocidas). São também utilizadas outras espécies que devem ser sempre submetidas a tratamento. A sua largura varia de um mínimo de 75mm (3") e um máximo de 350mm (14"). Na sua aplicação não é necessário uma tela de base, mas é necessária uma protecção de beirado (CMHC, 2013a, p. 142). A projecção para o exterior da cobertura deve ser também de cerca de 12mm (1/2"). A aplicação deve ser efectuada com sobreposições na direcção da inclinação da cobertura com pelo menos 40mm entre *shingles* sucessivas. Entre *shingles* na mesma fila devem ser deixadas juntas de 6mm (1/4") e devem ser utilizados apenas dois pregos galvanizados a quente (ou outros, anti corrosão) por *shingle* (CMHC, 2013a, p. 142).

As *shingles* de madeira de Cedro seccionadas por fractura, a colocar em coberturas com mais de 1:3 de inclinação, devem ter pelo menos 450mm (18") de comprimento e 100 mm (4") de largura, não devendo esta dimensão ultrapassar 350mm. A espessura do topo, que deve ser a menor, deve ter entre 9mm e 32mm. Estas *shingles* podem ser aplicadas sobre revestimentos estruturais de régua de madeira abertos ou fechados, embora sejam recomendados revestimentos fechados em zonas com elevada exposição ao vento. No caso de revestimentos estruturais abertos (perfis montadas com espaçamentos) devem aplicar-se secções de 19mmx89 mm, ou mais, com espaçamentos da mesma dimensão que a parte exposta das *shingles*, mas nunca com mais de 250mm (10"). É recomendada uma exposição

<sup>167</sup> Os painéis metálicos são normalmente fabricados em larguras de 762mm a 914mm (30" a 36") e em qualquer comprimento especificado pelo projectista. Os fabricantes fornecem também acessórios de cumeeiras, larós e pingadeiras. A inclinação mínima para os painéis metálicos é em geral de 1:4, a não ser que os fabricantes forneçam informação técnica referindo outras inclinações suportadas. A escolha da espessura da chapa dependerá do tipo de material (aço ou alumínio), das cargas previstas para neve e o tipo de perfil do painel, mas não deve ser inferior a 0,33mm para o aço galvanizado, 0,46mm para cobre ou zinco e 0,48mm para alumínio. A espessura para cargas de neve específicas deve ser fornecida pelos fabricantes (CMHC, 2013a, p. 146).

<sup>168</sup> Os elementos de acabamento em betão e cerâmica impõem um grande peso à cobertura, devendo a estrutura ser prevista e calculada para suportar as cargas adicionais (CMHC, 2013a, p. 146). Os elementos de betão e cerâmica embora exijam uma estrutura mais robusta, têm em princípio uma maior durabilidade. Em zonas de risco de sismo elevado deve ser previsto um reforço adicional para a ligação e suporte deste tipo de elementos (CMHC, 2013a, p. 147).

<sup>169</sup> São normalmente comercializadas em painéis com três *shingles* aparentes (*tabs*). Havendo cerca de 21 a 26 unidades num maço que permite cobrir uma área de 3m<sup>2</sup> (32 sq. feet). As *shingles* devem ser instaladas de modo a evitar o retorno da água para a sua face inferior. No término da cobertura deve-se deixar pelo menos 12mm (1/2") projectados para formar uma linha de gofeira. Como medida de segurança pode-se instalar uma tela de início ao longo do beirado. As *shingles* são pregadas com quatro pregos. A maior parte das *shingles* de asfalto são auto selantes: uma fita adesiva na face posterior de cada escama fixa a superior à inferior (CMHC, 2013a, p. 141). As *shingles* de asfalto para inclinações baixas de 1:6 a 1:3 exigem cuidados especiais, nomeadamente a adição de faixas de betonilha, para evitar infiltrações (CMHC, 2013a, p. 141).

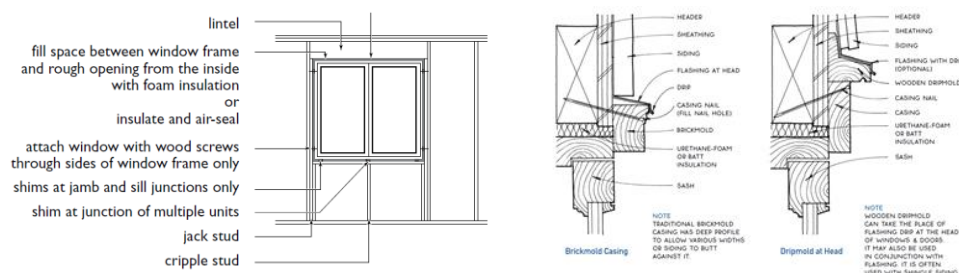


Fig. 231 - Folga de 12,5mm entre o aro da estrutura e o aro da janela (TRADA, 2008) e pormenores do lintel de um vão (Thalon, 2009).

de 190mm (7-1/2") para *shingles* de 450mm de comprimento e 250mm para *shingles* de 600mm de comprimento<sup>170</sup> (CMHC, 2013a, p. 143).

Os acabamentos de cobertura com telas impermeáveis (*built-up roofs*) têm em geral três ou mais camadas diferenciadas. Cada camada incluindo a final é selada com betume ou asfalto. Normalmente a superfície final é coberta com gralva (por vezes embebida em asfalto ou betume) ou com outro tipo de painel de acabamento. Nas arestas da cobertura são montados elementos metálicos do tipo pingadeira e no caso de a cobertura ser coberta com gralva é adicionado no beirado um elemento de remate com função de barreira. Quando há paredes de madeira que se elevam na cobertura (muretes), deve ser utilizado um elemento de canto nas intersecções, devendo as telas devem subir no plano da parede pelo menos 150mm (6"). As telas das paredes são depois coladas sobre as membranas da cobertura instaladas previamente. (CMHC, 2013a, p. 145).

### 3.1.1.8 DETALHES - RETICULADOS

#### Portas e Janelas

A escolha das portas<sup>171</sup> e das janelas deve ser realizada de modo a proporcionar a entrada de luz, a ventilação, a redução de perdas térmicas de Inverno e os ganhos solares de Verão. A classificação das janelas é feita segundo o seu desempenho em termos de isolamento (condutibilidade térmica) e resistência aos ganhos solares, à protecção de água e vento e permeabilidade ao ar. As janelas e portas devem ser integradas de forma a prever a protecção e drenagem da água em relação ao interior e à parede onde se integram. Deve também ser prevista a sua ligação com o sistema da envolvente, de estanquidade ao ar (*air barrier system*). As janelas têm um comportamento térmico menos eficiente que as paredes pelo que deve haver um critério equilibrado na ponderação das exigências de luz, ventilação, vistas e eficiência térmica. As portas devem, sempre que possível, ser instaladas sob elementos de protecção como coberturas, telheiros, pálas, corpos balançados, etc. (CMHC, 2013a, p. 16).

As janelas são normalmente instaladas depois de se ter montado toda a estrutura reticulada e depois de fechada a cobertura. A instalação correcta das janelas contempla a sobreposição e a selagem da membrana impermeável de modo a formar um segundo plano de protecção no seu perímetro e em particular a montagem de uma drenagem por baixo do peitoril (CMHC,

<sup>170</sup> A primeira camada de shingles deve ser duplicada ou mesmo triplicada, devendo ser colocada uma banda de tela sobre o revestimento de estrutura nas linhas de beirado, pelo menos 300mm para o interior da linha da parede exterior. Sob cada linha de shingles deve ser colocada uma faixa de tela com cerca de 450mm. Devem ser deixadas juntas de 6 a 9mm entre as shingles para evitar empolamentos devido a inchamento. As juntas verticais de duas linhas de shingles adjacentes devem ser desfasadas numa dimensão igual ou superior a 40mm (CMHC, 2013a, p. 144). Nas cumeeiras utiliza-se por vezes uma tela vedante sob as shingles.

<sup>171</sup> As portas normalmente são fornecidas como um conjunto que contém a folha e as guarnições. As aduelas normalmente têm 19mm (3/4" nominais), com a profundidade variável e apropriada à parede acabada, sendo adicionados os batentes, ou estando previsto um ressalto na própria aduela. Devem haver calços entre as aduelas e a abertura bruta dos vãos (CMHC, 2013a, p. 241).

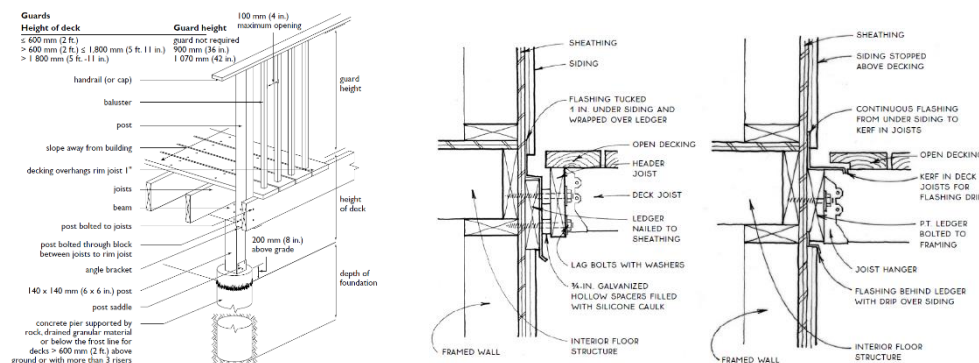


Fig. 232 - Varandas com "deck" (TRADA, 2008) e detalhes da ligação com a fachada (Thalon, 2009).

2013a, pp. 178, 179). Depois da montagem da janela as juntas entre os seus aros e os elementos do reticulado (que definem o vazio do vão) devem ser seladas, sendo para este efeito normalmente utilizada a espuma de poliuretano. Para evitar entradas de água na estrutura através das janelas deve ligar-se, através de dobragem, a barreira de ar às arestas interiores da janela (CMHC, 2013a, p. 180).

A continuidade dos meios de drenagem no primeiro plano de protecção (o plano dos acabamentos) é realizada através da aplicação de selantes e da montagem de perfis de remate, rematando-se todo o perímetro de qualquer vão introduzido na fachada. Para expulsar a água que escorre normalmente sobre as janelas é recomendada a aplicação de uma pingadeira no peitoril reduzindo a probabilidade de infiltrações para a caixa-de-ar e eliminando as manchas nas paredes causadas por escorrimento. O peitoril que deve ter uma inclinação de 6% deve projectar-se 25mm para o exterior do revestimento<sup>172</sup>. A ranhura de pingadeira, a prever no peitoril, deve estar posicionada a 6mm (1/4") para o exterior do plano do acabamento da parede em madeira, ou 15mm para o exterior da face interior da alvenaria de tijolo. O sub-peitoril deve ser também inclinado e sobre ele deve ser colocada uma membrana impermeável (CMHC, 2013a, p. 180).

Deve haver uma distância entre a abertura bruta do vão e o aro da janela de 12,5mm (1/2") (ou seja a abertura bruta do vão e a janela devem ter uma diferença dimensional de 25mm (1") (cf. figura 231). Esse espaço deve ser preenchido com isolamento em espuma ou com outro material selante estanque. A janela é aparafusada apenas aos membros laterais da estrutura. Os calços devem ser instalados apenas nas juntas do peitoril e das ombreiras (CMHC, 2013a, p. 180) e nunca no lintel para permitir os movimentos de assentamento da madeira (cf. figura 231).

### Varandas e terraços (decks)

Os pilares de suporte de *decks* terão normalmente pelo menos 140mmx140mm (6"x6" nominais), a não ser que através de cálculo se obtenha outra dimensão. Os *decks* são instalados no exterior e suportam as cargas sem necessidade de instalar sub-pavimento. Por esta razão o respectivo revestimento de madeira deve ter pelo menos 32mm (1-1/4") de espessura, se for suportado por vigotas afastadas de 400mm (16") e pelo menos 38mm (2" nominais), se suportado por vigotas afastadas de 600mm (24"). As dimensões mais comuns para a largura das régua de *deck* são 89mm e 140mm (4" e 6") (CMHC, 2013a, p. 252).

Nos *decks* sobre o solo deve-se deixar pelo menos uma dimensão livre de 150mm (6"), desde as vigas até ao terreno, para prevenir a possível transmissão de humidade através de

<sup>172</sup> No caso de acabamento em alvenaria de tijolo maciço - os 25mm contam-se a partir da face interior do revestimento, contemplando-se depois um segundo peitoril realizado na própria alvenaria.

vegetação, salpicos ou alterações no relevo do solo. Os materiais de madeira devem ser tratados por pressão podendo em alternativa ser utilizadas espécies duráveis (como o Cedro - *Western Ceder*). As réguas de *deck* devem ser colocadas de modo a que os finais dos anéis de crescimento visíveis nos topos estejam voltados para baixo para que se houver encurvamento este se faça de modo a não criar concavidades que acumulem água na superfície superior. Deve ser deixado um espaço de 3mm (1/8") entre réguas para permitir a drenagem da água e a secagem (CMHC, 2013a, p. 253).

Os decks ligados aos edifícios devem ter a sua cota pelo menos 19mm (3/4") abaixo do nível do pavimento interior e devem ter uma inclinação mínima de 1% para o exterior de modo a eliminar a água da zona da envolvente, especialmente quando a neve derrete. Quando a parede de contacto da habitação com o *deck* tem um acabamento em perfis de madeira, deve haver um remate que tem origem sob os perfis de acabamento da parede e que dobra sobre um elemento de madeira (CMHC, 2013a, p. 254). Em alternativa pode ser utilizado um espaço de drenagem livre entre o *deck* e a parede (cf. imagem 232).

As consolas de espaços interiores (para *baywindows* ou volumes projectados) são definidas através do balanço das vigotas interiores que se prolongam para o exterior. Estas consolas, que não devem suportar mais que um piso, não devem exceder 400mm com vigas de 38x184mm e 600mm para vigas de maior altura (CMHC, 2013a, p. 104).

Os pisos em consola com estrutura de componentes leves de madeira são muito limitativos em termos de dimensões. O International Building Code (International Code Council, 2015) por exemplo, estabelece uma regra segundo a qual o balanço deve ser apenas o correspondente à altura das vigas. No entanto, indica-se a possibilidade de, por exemplo, se atingirem balanços de 1,21m (48") com vigas de 2"x12" espaçadas 20cm (8"). Para varandas o vão máximo indicativo é de 1,70m com vigas de 2"x12" espaçadas 0,40m. Estas soluções são pouco económicas porque o ratio entre a zona da viga em balanço e a viga apoiada deve ser de 1/3 no caso do balanço de piso e de 1/2 no caso do balanço de varanda.

### **Escadas**

As escadas são compostas de elementos de desgaste no cobertor (*tread*) e de fechamento no espelho (*riser*). Estes dois elementos por sua vez são suportados por vigas laterais (*stringers*) que podem ser rectas ou recortados de modo a acompanhar o perfil da escada. Estas vigas não devem ter menos de 25mm (1") de espessura, quando tiverem suportes ao longo do seu comprimento, ou menos de 38mm (1-1/2") quando suportadas apenas no topo e na base. A altura total destas vigas deve ter pelo menos 235mm (9-1/4"). No caso de a viga ser recortada, a altura entre o ponto de encontro do cobertor e do espelho e a base da viga não deve ser inferior a 90mm (3-1/2"). Quando a largura da escada é superior a 900mm (35") é necessária uma terceira viga. A largura pode ser aumentada para 1200mm (48") sem a terceira viga sempre que os espelhos suportarem o topo dos cobertores (CMHC, 2013a, p. 192). Quando os espelhos forem abertos, os cobertores devem ter uma espessura de pelo menos 38mm (1-1/2"). Esta espessura pode ser reduzida para 25mm (1") quando as vigas da escada tiverem um afastamento inferior a 750mm (29") ou quando os cobertores forem suportados por um espelho fechado ligado ao cobertor.

### **Chaminés**

As paredes exteriores das chaminés não devem ter menos de 75mm (3") de espessura e devem ser realizadas com tijolo maciço. As condutas variam em função da dimensão das

lareiras ou fogões<sup>173</sup>. Deve haver pelo menos 12mm de espaçamento entre a parede exterior da chaminé e a estrutura de madeira, no caso das paredes exteriores e 50mm (2") para as paredes interiores (CMHC, 2013a, p. 197). No caso da lareira, esta deve estar afastada pelo menos 50mm dos componentes de madeira de paredes exteriores e pelo menos 100mm dos componentes de madeira de paredes interiores (CMHC, 2013a, p. 198).

### **Guarnições e remates**

Os elementos de guarnições e remates<sup>174</sup> devem ser resistentes à erosão e dimensionalmente estáveis (sem tendência para empenar, contrair e inchar). São cada vez mais frequentes as alternativas com chapas de metal lacado, por serem impermeáveis à água e duráveis. Quando se utiliza a madeira devem ser seladas as juntas expostas à humidade. Os ligadores (pregos e parafusos) devem também ser resistentes à água, utilizando-se normalmente o alumínio, o aço galvanizado e o aço inox (CMHC, 2013a, p. 185).

É aconselhável prever uma projecção dos beirados ao nível da cobertura porque esta oferece protecção aos planos de parede expostos. Os intradorsos dos beirados podem ser revestidos com madeira, ou em alternativa com chapa metálica ou painéis vinílicos perfurados por exigirem reduzida manutenção e por proporcionarem uma boa ventilação da cobertura, evitando ao mesmo tempo a entrada de insectos (CMHC, 2013a, p. 185). Quando se utiliza o contraplacado para os tectos das coberturas em balanço (beirados), devem ser utilizados placas de 6mm (1/4") de espessura<sup>175</sup>, devendo ser efectuadas aberturas no plano para permitir a ventilação exigida. No topo das vigotas de cobertura, dos caibros ou das asnas que se projectam para o exterior deve ser colocada uma peça de aba (ou testeira), ligando-se a esta uma outra aba de acabamento que se deve estender 12mm (1/2") abaixo do tecto exterior de modo a formar uma pingadeira (CMHC, 2013a, p. 186).

### **Pinturas**

As pinturas com tintas, vernizes, velaturas e lacas visam a obtenção de uma protecção adicional à humidade, uma redução do efeito dos raios ultravioleta e o aumento da resistência ao desgaste. Com estes produtos obtém-se também uma alteração visual da textura e da cor<sup>176</sup> proporcionando variantes de tom, brilho, dureza e durabilidade<sup>177</sup> (CMHC, 2013a, p. 246). Através dos primários pretende-se selar o grão da madeira, preparando a madeira para receber o acabamento final (CMHC, 2013a, p. 247).

Os vernizes são pinturas direccionadas principalmente para interior, para obtenção de protecção sem ocultação visual da base (CMHC, 2013a, p. 247). As velaturas são pinturas com alto conteúdo de solventes que proporcionam uma absorção do pigmento pelas células da madeira, direccionadas para proteger a madeira dos efeitos nocivos da água e do sol no exterior (CMHC, 2013a, p. 247).

<sup>173</sup> Como regra de pré-dimensionamento, a área da conduta deve ser pelo menos 1/10 da área da abertura da lareira mas não menos de 8"x8".

<sup>174</sup> No caso das portas e das janelas as guarnições exteriores são utilizadas para cobrir as juntas em redor dos vãos de modo a proteger os topos expostos dos perfis de revestimento (CMHC, 2013a, p. 187). É curioso notar que o manual "Canadian wood-frame construction" (CMHC, 2013a) recomenda a utilização de guarnições de metal pré-acabado devido às suas características de durabilidade (CMHC, 2013a, p. 188).

<sup>175</sup> Pregado com espaçamentos de 150mm (6") ao longo dos limites do painel e 300mm (12") nos suportes intermédios

<sup>176</sup> As pinturas, o verniz e as velaturas têm três principais componentes: solventes (serve para adelgaçar a pintura porque evapora durante a secagem); pigmentos (servem para adicionar cores, níveis de opacidade e brilho para além de resistência aos UV); e resinas (dão coesão aos pigmentos, adesão e durabilidade) (CMHC, 2013a, p. 247).

<sup>177</sup> A adequação de uma tinta para o exterior ou interior é determinada pela composição química da resina. As resinas de exterior proporcionam elasticidade de modo a suportar as alterações de temperatura e de dimensão permitindo movimentos do suporte sem fracturar a camada de tinta.

As tintas devem ser aplicadas sobre as superfícies da madeira secas e limpas e com uma humidade inferior a 19% e temperaturas superiores a 10°C. A aplicação com temperaturas inferiores conduz a acabamentos deficientes (CMHC, 2013a, p. 249). A durabilidade das pinturas exteriores depende da resistência aos UV e da capacidade de acomodar os fluxos de humidade para evitar empolamentos. Normalmente usam-se tintas de óleo para portas e remates porque são os elementos onde a durabilidade é mais necessária. Nos perfis de acabamento de paredes exteriores usam-se habitualmente tintas de latex para acomodar o movimento da madeira e minimizar o efeito de empolamento. As aplicações de verniz em exteriores deve ser muito ponderada, devido à reduzida resistência aos UV, mas quando este for aplicado deve assumir-se que este é um acabamento de elevada manutenção, requerendo 4 a 5 pinturas iniciais e repinturas anuais posteriores (CMHC, 2013a, p. 249).

#### **Tubos de queda e caleiras**

Recomenda-se a utilização de caleiras e tubos de queda (metálicos ou em PVC), para recolher direccionar e canalizar a água para o exterior da cobertura, porque é um modo eficaz de reduzir a quantidade de água que se pode acumular junto das fundações. No entanto em climas com temperaturas abaixo de zero, estes dispositivos podem causar problemas devido ao já referido efeito de barreira de gelo (CMHC, 2013a, p. 250). A sua instalação deve ser efectuada depois de todos os acabamentos exteriores estarem montados. As caleiras devem ser instaladas na aba do beirado, o mais próximo possível das telhas ou *shingles* em consola e com a devida inclinação direccionada para os tubos de queda (CMHC, 2013a, p. 250).

##### **3.1.1.9 INFRA-ESTRUTURAS - RETICULADOS**

O espaço entre os elementos estruturais do reticulado das paredes permite normalmente a passagem de infraestruturas de aquecimento, águas e esgotos e electricidade. Quando são necessárias mudanças de direcção, os elementos estruturais podem ser perfurados ou entalhados, sem afectar o comportamento estrutural do conjunto, desde que sejam cumpridas as regras definidas nos manuais (CMHC, 2013a, p. 203).

Os cortes realizados na parte superior das vigotas de madeira dos pavimentos perto dos topos só devem ser realizados numa dimensão horizontal que seja metade da dimensão da entrega e não devem ser mais profundos que um terço da altura total da viga (cf. figura 233). Na base das vigas não serão permitidos quaisquer entalhes (CMHC, 2013a, p. 203). Se for necessário efectuar entalhes que não respeitem estas regras, as vigotas devem ser compensadas com uma maior dimensão de modo a que a altura útil seja maior ou igual à altura exigida para as suas condições estruturais específicas. No caso de serem utilizadas vigotas do tipo *I-Joist*, as suas abas nunca poderão ser cortadas ou entalhadas (CMHC, 2013a, p. 204). As aberturas circulares em vigas não devem ser maiores que um quarto da altura da viga e não podem ser localizadas a menos de 50mm do topo e da base. Para além destas regras genéricas, as aberturas nos produtos derivados de madeira devem respeitar as especificações definidas pelos fabricantes (CMHC, 2013a, p. 204). As vigotas de cobertura não podem em caso nenhum ser perfuradas ou entalhadas.

Os montantes das paredes estruturais que forem entalhados ou perfurados em mais do que um terço da sua profundidade (a dimensão maior da secção) devem ser reforçados. O reforço é efectuada normalmente com elementos de madeira de 38mm (2" nominais) pregados de cada lado do montante e estendendo-se pelo menos 600mm (24") para cima e para baixo do entalhe ou abertura, podendo também utilizar-se peças de reforço metálicas. Quando se fazem entalhes em montantes de divisórias em que a dimensão remanescente na face maior



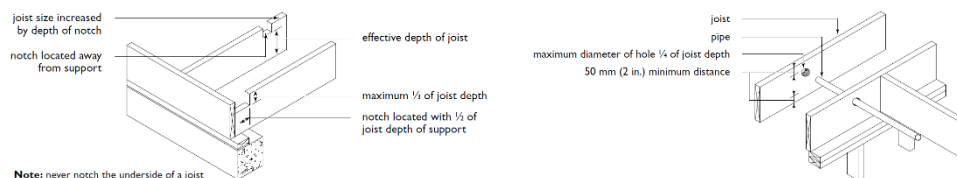


Fig. 233 - Passagem de infraestruturas e vigotas de pavimento (CMHC, 2013a).

do montante seja igual ou inferior a 40mm, devem-se sempre utilizar reforços<sup>178</sup> (CMHC, 2013a, p. 204).

Nas travessas de topo de paredes estruturais, quando a maior dimensão da secção remanescente de madeira for inferior a 50mm (2") deve haver reforço com elementos de madeira de 38mm (2" nominais). O reforço deve ser colocado á face da travessa (tal como no caso dos montantes), podendo ser utilizada uma chapa metálica para suportar o acabamento das paredes e para proteger as tubagens das infraestruturas (CMHC, 2013a, p. 205).

A instalação das infraestruturas de águas e esgotos tem início depois de finalizada a montagem da estrutura de madeira. Por vezes a instalação de canalizações implica a redução do isolamento ou afecta a barreira de ar, devendo nestes casos ser inserido isolamento adicional no exterior, devendo também a barreira de ar ser adaptada para assegurar a sua continuidade (CMHC, 2013a, p. 206). Quando forem utilizadas tubagens de cobre ou de plástico de 75mm (3"), as paredes que as contêm devem ser realizadas com montantes de pelo menos 38mmx140mm (2"x6"). Nas intersecções com o tecto deve garantir-se a estanquidade através da selagem das juntas, podendo esta ser realizada com uma borracha flexível ou com neoprene envolvendo as tubagens<sup>179</sup>. Quando as tubagens de esgoto ou tubos de maior secção têm que mudar de direcção para a horizontal ao nível dos pavimentos, obrigando a interromper-se as vigotas normais, devem instalar-se vigotas perpendiculares de ligação (*headers*). Em alternativa, se as exigências da Arquitectura o permitirem, pode rebaixar-se o plano das tubagens através de um ressalto (CMHC, 2013a, p. 208).

#### 3.1.1.10 REMATES DE ESTANQUIDADE - RETICULADOS

O objectivo da concepção dos dispositivos de estanquidade (*flashing*) consiste em prevenir a entrada de água na envolvente construída<sup>180</sup> e intersectar aquela que ultrapasse o primeiro plano de protecção (os componentes de acabamento), encaminhando-a depois para o exterior (CMHC, 2013a, p. 15). Cada zona específica da construção é vulnerável à entrada de água de modos diferentes, prevendo-se vários tipos de protecção: remates de base, contra-remate, remates de interior de paredes, capeamentos de paredes, remates sob capeamentos, remates de ângulos convexos, e remates de cobertura com outros planos.

Os dispositivos de estanquidade (remates) são normalmente instalados superfícies exteriores onde existem discontinuidades como: no topo das paredes exteriores; nas juntas entre paredes e coberturas; nas juntas entre coberturas e chaminés; nos elementos que intersectam a cobertura em geral; nas zonas de laró de cobertura; nas paredes sobre e sob as portas; na base da caixa-de-ar das paredes exteriores; e sempre que dois materiais diferentes se intersectam. Estes remates (capeamentos, etc.) são utilizados para afastar a

<sup>178</sup> A instalação eléctrica é realizada depois do fechamento da estrutura e antes do isolamento ser colocado. Quando se perfura um montante para passagem de cabos eléctricos (abertura circular) com uma proximidade do seu limite inferior a 30mm deve efectuar-se um reforço (CMHC, 2013a, p. 211).

<sup>179</sup> Também no caso dos equipamentos de iluminação, os interruptores e as tomadas e as tampas (que são instalados depois dos acabamentos e das pinturas serem concluídos) (CMHC, 2013a, p. 212), devem ser seladas todas as caixas e tomadas eléctricas para garantir a estanquidade.

<sup>180</sup> A água movimenta-se não apenas por gravidade, mas também por tensão superficial, capilaridade, energia cinética e pressão diferencial. Estas são as forças com que os recursos de estanquidade vão ter de lidar.

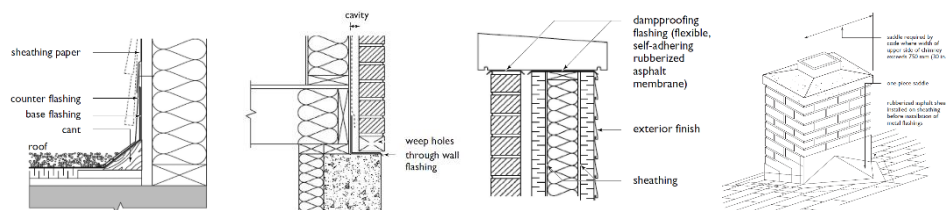


Fig. 234 - Diversos tipos de remates: entre cobertura e murete, na base da fachada, num capeamento e na intersecção de uma chaminé com a cobertura (CMHC, 2013a).

água dos elementos que possam ser degradados directa ou indirectamente pela presença e acumulação de água (CMHC, 2013a, p. 164) (cf. figura 234).

Para conduzir a água por gravidade, as superfícies devem ter uma inclinação mínima de 6% na direcção da drenagem, devendo prever-se medidas de correcção de possíveis assentamentos e contracção de materiais. Os pontos de descarga devem projectar a água para além das superfícies que se podem deteriorar pela acção da água ou do gelo protegendo-se assim estas por capeamentos e remates (CMHC, 2013a, p. 164). As terminações das coberturas inclinadas não devem ter encaixes ou juntas nos pontos (linhas) em que a água é direccionada para um outro elemento de descarga ou de direccionamento da água (CMHC, 2013a, p. 165).

Deve-se ter atenção ao fenómeno da tensão superficial da água permite que o seu fluxo da água ocorra no intradorso de uma superfície horizontal e também de baixo para cima especialmente em juntas e fissuras. As superfícies horizontais de reduzidas dimensões (como as alhetas perto dos perímetros dos tectos exteriores por exemplo), devem ter mais de 9mm para evitar a aderência da água entre as duas superfícies que as separam, permitindo da melhor forma a sua drenagem (CMHC, 2013a, p. 165). Como regra geral devem ser previstas pingadeiras em pontos de descarga para quebrar a tensão superficial, permitindo à água fluir por gravidade.

A condução da água por capilaridade está associada a materiais porosos como betão e tijolo, utilizados em elementos de fundação, revestimentos exteriores e elementos especiais como as lareiras. A água pode ser conduzida por capilaridade através de vasos de diâmetro inferior a 5mm, podendo como prevenção, prever-se juntas e desníveis de planos (CMHC, 2013a, p. 165). A energia cinética do vento direcciona a chuva normalmente a alta velocidade e com uma componente horizontal significativa<sup>181</sup>. Assim, é importante selar as juntas em remates e capeamentos sujeitas a este fenómeno (CMHC, 2013a, p. 165).

Na intersecção de um plano de cobertura com outros elementos que a intersectem, como por exemplo as paredes, ou as tubagens de ventilação, deve prever-se um sistema de impermeabilização que dobre na vertical de modo a criar juntas estanques. O remate pode ser executado no mesmo material da cobertura ou num material compatível<sup>182</sup>.

A prevenção da entrada de água a partir do topo dos remates de base realiza-se introduzindo um contra-remate na terminação superior. Este contra-remate (*counter flashing*) é

<sup>181</sup> Nas zonas mais altas dos edifícios, o vento pode transportar a água da chuva de baixo para cima podendo esta infiltrar-se para o interior através de juntas e pequenas aberturas. A pressão diferencial resulta da combinação de uma pressão positiva no exterior de um edifício e uma pressão negativa no interior. Esta pressão, especialmente originada pelo vento pode também conduzir a água através de juntas não seladas ou mal seladas e orifícios de reduzidas dimensões.

<sup>182</sup> Quando se utilizam perfis de revestimento nas paredes o remate realiza-se dobrando a tela sob estes. Quando um revestimento de perfis de madeira intersecta um plano de cobertura deve ser deixado um espaço de 50mm (2") entre o revestimento e a superfície de telhado. Deve também instalar-se um elemento de canto de secção triangular nas juntas entre planos horizontais e verticais para evitar os ângulos rectos que podem conduzir à ruptura das membranas. A membrana da cobertura deve estender-se pelo menos 150mm (6") sobre a parede e sob o revestimento. Deve haver uma sobreposição de pelo menos 100mm (4") entre a membrana principal e a membrana de remate (CMHC, 2013a, p. 166).

normalmente metálico, protegendo também as telas dos impactos, da radiação UV e dos danos provocados por eventuais impactos. Estes remates devem ser facilmente removíveis para possibilitar a manutenção e a substituição das telas (CMHC, 2013a, p. 166).

Os remates do interior das paredes interceptam e dirigem o fluxo de água do interior da caixa-de-ar da parede para o exterior (CMHC, 2013a, p. 167). São normalmente realizados com perfis metálicos conjugados com telas que inflectem em ângulo recebendo a água dos planos verticais expulsando-a para o exterior, geralmente na base das paredes.

Os topos das paredes exteriores e os muretes devem ter capeamentos metálicos para prevenir a penetração da água<sup>183</sup>. Os capeamentos devem em geral ser inclinados para a cobertura para evitar que os acabamentos das fachadas principais sejam afectados pela água (nomeadamente através do efeito mais imediato das manchas de escorrimento). Os capeamentos não são resistentes à água nas juntas, requerendo por isso um remate contínuo e à prova de água instalado sob eles (CMHC, 2013a, p. 167).

As intersecções de dois planos de cobertura formando um ângulo convexo (tipo laró) devem ter remates, podendo ser utilizada uma peça metálica de pelo menos 600mm de largura ou duas camadas de tela sobre o revestimento estrutural. A tela de base pode ser do tipo flexível ou com acabamento mineral de pelo menos 457mm (18") de largura. As juntas da primeira tela devem ser seladas com argamassa (*roofing cement*) e sobre a primeira tela aplica-se uma outra tela mineral que é pregada. Os acabamentos da cobertura interrompem-se entre 100 a 150mm (4" a 6") da linha de intersecção com esta distância a aumentar da zona mais elevada para a mais baixa (CMHC, 2013a, p. 168)<sup>184</sup>.

Nos remates da cobertura com paredes e chaminés utilizam-se normalmente remates com elementos de tela sobrepostos ao longo do declive da cobertura nas zonas de intersecção, estendendo-se pelo menos 100mm (4") sob a superfície do acabamento. Quando se trata de acabamento de *shingles*, utilizam-se elementos de tela para cada *shingle*, sobrepondo-se os elementos pelo menos 750mm (3") sobre a superfície da cobertura. Deve ser instalada uma segunda tela sobre a primeira estendendo-se pelo menos 150mm acima da parede. Deve haver ainda uma sobreposição de pelo menos 75mm (3") entre cada elemento de tela sucessivo (CMHC, 2013a, p. 169).

Em qualquer intersecção entre os acabamentos de cobertura e paredes verticais devem ser instalados remates que sobem os planos verticais numa dimensão nunca inferior a 75mm (3") (CMHC, 2013a, p. 169). Quando uma cobertura inclinada encontra uma superfície vertical (como uma chaminé) que forma um obstáculo ao fluxo de água descendente (a linha de intersecção é uma horizontal), deve ser executada um volume tipo "sela" (*"sedle"*), principalmente se o plano do obstáculo tiver mais de 750mm (30") de largura. Esta "sela" deve ser executada pelos carpinteiros na altura da montagem da estrutura (CMHC, 2013a, p. 170).

Devem ser instalados remates do tipo pingadeira entre dois materiais de acabamento diferentes (por exemplo perfis de madeira sobre estuque) ou entre diferentes componentes. No encontro entre perfis de madeira e estuque, de modo a prevenir que a água entre pela

<sup>183</sup> São utilizados por vezes capeamentos de pedra ou betão pré-fabricados nos topos das paredes, mas também nas soleiras e peitoris. A instalação destes capeamentos é realizada por vezes através de várias secções que potenciam a entrada de água pelas juntas. Deve então ser instalado um remate impermeável entre o capeamento e o topo da parede (CMHC, 2013a, p. 167).

<sup>184</sup> Quando os larós são cobertos totalmente pelos revestimentos utiliza-se normalmente um remate sob eles com uma peça metálica que fica oculta. Se o revestimento for efectuado com *shingles* de madeira, estas não devem ser pregadas a menos de 75mm da linha de intersecção na zona da cumeeira da cobertura ou a menos de 125mm (5") na zona dos beirados (CMHC, 2013a, p. 168).

respectiva junta, deve ser inserido um remate sob os perfis dobrando sobre o estuque para um elemento do tipo pingadeira (CMHC, 2013a, p. 170).

Devem ser instalados remates sobre janelas e portas (remates de lintel) a não ser que estes estejam protegidos por uma volume em balanço cuja distância entre o topo do vão e a linha de intersecção com a parede do vão esteja a menos de 1/4 da dimensão da projecção horizontal do balanço. O remate deve ser executado a partir do topo do vão até à base da membrana de remate no interior da parede. Quando as soleiras e os peitoris não são estanques devem também ser instalados remates (CMHC, 2013a, p. 171).

Os remates devem ser impermeáveis, flexíveis e compatíveis com as retracções e expansão dos elementos que protegem; as terminações devem ser rígidas, ter formas em aresta para eficaz expulsão da água e devem ser afastados o suficiente para evitar a acumulações de água; os materiais de remate devem ser duráveis aos raios UV, resistentes a temperaturas extremas, à corrosão, ao congelamento e à fadiga; devendo ser compatíveis quimicamente com os materiais envolventes (deve ser evitado contacto entre metais diferentes assim como as argamassas e o betão alcalino com o cobre e o alumínio, podendo ser utilizadas membranas como material intermédio) (CMHC, 2013a, p. 171).

Na concepção dos desenhos de detalhes, deve ser considerado o grau de dificuldade da sua execução e a possibilidade de manutenção, nomeadamente a possibilidade da sua remoção. Devem ser especialmente evitados materiais de reduzida durabilidade em zonas de construção de difícil acesso. O projecto deve contemplar uma inspecção anual dos remates e dos selantes, particularmente em zonas de elevada exposição á água e ao sol (CMHC, 2013a, p. 172). Finalmente, para evitar problemas depois de concluída a obra deve ser realizado um manual de manutenção para utilização do utente (CMHC, 2013a, p. 261).

### 3.1.2 PRODUTOS UTILIZADOS COM RETICULADOS

Os componentes de madeira na América do Norte são designados pelas suas dimensões nominais (dimensões antes do componentes ser acabado e seco) que são superiores às dimensões finais. Uma secção nominal de 2" por 4" terá, depois de ser submetida a acabamento, cerca de 1-1/2" por 3-1/2". Por outro lado o mercado distingue a madeira comercial para estruturas ligeiras, a qual é designada como "*lumber*", dos componentes de madeira com maiores dimensões para os quais se utiliza o termo "*timber*" (CMHC, 2013a, p. 28). No primeiro caso, a menor dimensão da secção dos componentes é inferior a 114mm (5" nominais ou seja 125mm).

No Canadá os produtos de madeira utilizados na construção são carimbados com a classe (*grade*) referente às regras de classificação da National Lumber Grades Authority (NLGA). O carimbo colocado nos produtos deve indicar a agência de classificação, a espécie ou combinação de espécies, o conteúdo de humidade<sup>185</sup> na altura da produção (acabamento) e o número da empresa de serração (CMHC, 2013a, p. 28).

A classificação da madeira para fins estruturais permite assinalar a sua resistência e é baseada na análise e avaliação de cada componente de construção em função das características dimensionais, da localização e tipo dos nós e da direcção do grão. As peças

<sup>185</sup> A madeira é classificada quanto ao teor de humidade em: S-GRN quando a madeira é acabada com uma humidade superior a 19%, com uma dimensão que permite a retracção natural durante a secagem; é classificada em S-DRY quando a madeira é acabada com uma humidade inferior a 19%; é classificada como KD (*kiln dried*) quando foi seca em estufa até um conteúdo de humidade de 19% ou menos. Durante a montagem em obra, a humidade da madeira não deve exceder os 19%, sendo a melhor maneira de limitar a humidade nas novas construções através da utilização de madeira classificada como S-DRY (CMHC, 2013a, p. 28).

de diferentes espécies de madeira resinosa com a mesma resistência podem ser agrupadas em combinações e comercializadas sob a designação do grupo<sup>186</sup>.

### 3.1.2.1 PRODUTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA - RETICULADOS

#### Produtos de madeira maciça

Na América do Norte, a madeira é produzida não só em secções<sup>187</sup> normalizadas, como já foi referido, mas também em comprimentos normalizados. O comprimento normalizado mais comum dos montantes maciços para reticulados é de 96-3/4" (2,457m) (Haun, 2008). Noutras regiões e com diferentes fabricantes, as dimensões podem variar, como acontece na Finlândia onde os comprimentos normalizados são de 2,48m e 2,63m (Viljakainen, 2003). A empresa Binderholz fornece os montantes com dimensões normalizadas de 2,10m e 2,70m, com incrementos de 30cm. (Binderholz, *Strenght graded structural softwood lumber*, 2015).

#### Produtos derivados de madeira

Os produtos derivados da madeira (compostos de madeira) (*EWPs - engineered wood products*) são utilizados normalmente na construção residencial, oferecendo normalmente superiores às da madeira maciça, sendo fabricados com menos quantidade de madeira e proporcionando comprimentos maiores. Entre estes produtos incluem-se as vigotas tipo *I-joist*, os componentes Glulam, os contraplacados, o OSB, o LVL e outros. Os produtos derivados de madeira recorrem a colas e ligadores metálicos para a ligação dos diferentes subcomponentes.

O LVL (*Laminated veneer lumber*) é um composto de finas camadas de madeira dispostas paralelamente à direcção longitudinal do componente, revestidas com um adesivo à prova de água e colados a quente com pressão. Pode ser utilizado em vigas, pilares, lintéis, vigas de pavimento e cobertura e abas de vigas *I-joist*. O PSL (*Parallel-strand lumber*) é um composto de finas camadas cortadas em tiras finas (de menor largura que o LVL) e coladas recorrendo a um processo similar ao LVL. Aplica-se principalmente em lintéis, vigas e pilares. O LSL (*Laminated strand lumber*) e o OSL (*oriented strand lumber*) são compostos de virutas combinadas colados e pressionadas, orientadas segundo planos, sendo utilizados como vigas, lintéis e montantes (CMHC, 2013a, p. 30).

As vigotas *I Joist* destinam-se à realização de pavimentos estruturais, surgindo com características e composições muito variáveis. As "*APA performance I-Joist*", por exemplo têm os banzos superior e inferior iguais e compostos de madeira maciça ou de compostos de madeira, sendo a alma realizada com derivados de madeira, na maioria dos casos em OSB. As quatro alturas disponíveis são 9-1/2", 11-7/8", 14" e 16". As dimensões dos banzos variam com a resistência do componente. Os comprimentos podem ir aos 60' (18,28m), abrangendo comprimentos normalizados de mercado que podem variar entre 16' e 36' (4,87m e 10,97m) (Wing, 2009, p. 148).

<sup>186</sup> A combinação mais comum é a SPF (Espruce, Pinho e Abeto). A classificação *Select Structural* Nº 1 e 2 é utilizada onde é necessária uma maior resistência e boa aparência. As classes *Construction* e *Standard* são utilizadas para fins estruturais e têm propriedades similares às da classe n.º 3. As classes *Utility* e *Economy* não são utilizadas para fins estruturais. O NBC enumera as classes mínimas para várias utilizações de madeira estrutural (CMHC, 2013a, p. 29). As peças com ligações de entalhes múltiplos (*finger jointed*) dependendo do tipo de classificação podem ser utilizadas para vigas de pavimento (SPS1), ou apenas para elementos verticais sujeitos a esforços de compressão (SPS3).

<sup>187</sup> A empresa Europeia Binderholz produz componentes estruturais para os sistemas reticulados leves com as dimensões de 38mmx63mm/89mm/140mm/184mm/235mm/286mm, em madeira de Espruce, Pinho, Lariço e Abeto Douglas.

## Painéis

Os painéis são utilizadas para conferir rigidez às coberturas, paredes e pavimentos, proporcionando superfícies uniformes para a aplicação dos acabamentos. Os painéis mais comuns são os contraplacados e as placas OSB.

O contraplacado é composto de finas camadas de madeira coladas com as fibras de camadas adjacentes perpendiculares entre si. As suas espessuras mais comuns variam entre 1/4" e 3/4" (6mm e 18,5mm). Tal como a madeira maciça, o contraplacado é classificado em classes para utilizações específicas. Os contraplacados de Abeto Douglas (Douglas Fir plywood DFP) e de resinosas canadianas (CSP) são os mais comuns.

O aglomerado de partículas longas orientadas OSB (Oriented Strand Board) é uma placa estrutural composta de virutas de madeira, mecanicamente orientadas em camadas, sendo as camadas exteriores paralelas à dimensão maior do painel sendo as camadas interiores agrupadas com uma orientação aleatória. O OSB é fabricado com cola de classe exterior e é estruturalmente equivalente ao contraplacado. É utilizado principalmente para coberturas, paredes, sub-pavimento e almas de vigas *I-Joist*.

O aglomerado de partículas longas (*waferboard*) é um composto de virutas que ao contrário do OSB não são orientadas, tendo caído em desuso pela introdução do OSB. Os aglomerados de fibras MDF (*fibreboard*) são compostos de fibras agrupadas sob pressão, estando disponíveis simples e impregnadas com asfalto. São utilizados principalmente em revestimentos de paredes. Os painéis de média densidade são utilizados frequentemente para elementos de remate interiores. O aglomerado de fibras HDF (*hardboard*) é composto de fibras de madeira, tal como o MDF, mas é mais denso e mais rígido. É utilizado principalmente para mobiliário, sendo pré-acabado e funcionando como alternativa à madeira, vinil e alumínio. Os aglomerados de partículas são compostos de finas partículas pressionadas e agrupadas com cola fenólica. Habitualmente têm 1,22mx2,44m (4'x8') ou 1,523mx1,523m (5'x5'). São normalmente utilizados em bases de pavimento ou em acabamentos interiores e componentes de mobiliário.

### 3.1.2.2 ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Os isolamentos em mantas de fibras de vidro ou lã de rocha são os mais utilizados na construção com reticulados de madeira e em especial nas paredes. Os isolamentos livres, para enchimento, como as fibras de celulose, a lã mineral e a lã natural, são utilizados nos tectos sob as coberturas para que o isolamento cubra totalmente as vigotas de pavimento reduzindo assim as pontes térmicas. Os isolamentos rígidos como o poliestireno extrudido e expandido, bem como as fibras de vidro em painéis com uma baixa permeabilidade à humidade são normalmente utilizados em zonas de muita humidade como as paredes abaixo do nível do solo. Os isolamentos em espuma injectada no local como o poliuretano pode ser instalado através de *spray* ou injeção, proporcionando uma grande flexibilidade de utilização (CMHC, 2013a, p. 47).

### 3.1.3 EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - RETICULADOS

As exigências técnicas que se seguem referem-se ao regulamento Canadano CBC. Em Portugal, tal como foi já referido no capítulo 1.2 (Especificidades nacionais), para além dos regulamentos de construção oficializados por Decreto-Lei e das normas específicas da construção em madeira, o Eurocódigo 5 será a referência fundamental para o cálculo das estruturas. Considera-se importante descrever algumas das exigências técnicas da

construção tal como são expressas nos regulamentos Canadianos porque muitas delas reflectem a experiência acumulada durante muitos anos de construção e aperfeiçoamento.

#### 3.1.3.1 ESTABILIDADE - RETICULADOS

As exigências para os edifícios com sistema de reticulados leves são baseadas na combinação de soluções calculadas e no historial do seu comportamento típico. As “soluções calculadas” incluídas nos regulamentos (*“building codes”*) têm por base as cargas de gravidade, o peso próprio, as sobrecargas de ocupação e a neve<sup>188</sup>.

É a combinação dos elementos de madeira estrutural ou derivados de madeira e painéis de revestimento que conferem às paredes, aos pavimentos e à cobertura a resistência às cargas verticais (neve, ocupantes e conteúdos) e cargas horizontais (vento e sismo). As divisórias interiores, os armários e revestimentos de acabamento como os painéis de gesso conferem também alguma resistência adicional<sup>189</sup>.

Os pavimentos, paredes e a cobertura são concebidos como uma unidade, sendo por esse motivo necessário que o pavimento seja ligado convenientemente às fundações de betão. Em zonas de elevado risco sísmico ou muito expostas ao vento, devem ser providenciadas ligações adicionais entre coberturas, paredes e pavimentos (CMHC, 2013a, p. 90).

No Canadá as exigências para resistência às forças horizontais baseia-se em três graus de risco: baixo a moderado, elevado e extremo, consoante as zonas sísmicas. Nas zonas de risco baixo a moderado (a maior parte das localizações no Canadá), a construção tradicional em reticulados de madeira, com painéis de revestimento exterior ou com acabamento em placas de gesso respondem às exigências de segurança. Para as zonas de elevada exposição exigem-se recursos adicionais, prevendo-se no NBC soluções prescritivas que incluem o uso de sectores de paredes reforçados (*braced wall panels*), limitando a posição, e estabelecendo o espaçamento, o tipo de ligadores e materiais, para além do tipo de ancoragem às fundações, a espessura de painéis de revestimento e as dimensões e espaçamento dos respectivos ligadores<sup>190</sup> (CMHC, 2013a, p. 91).

#### 3.1.3.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO - RETICULADOS

A construção de reticulados leves permite responder às exigências de segurança contra incêndio do NBCC (*National Building Code of Canada*), sendo considerados níveis aceitáveis de segurança quando é prevista a protecção conferida por painéis de gesso relativamente aos elementos estruturais. A segurança contra incêndio no que diz respeito às exigências da construção (exigências de outro tipo são controladas pelos utentes) incluem medidas como as limitações das dimensões dos vãos desprotegidos quando os edifícios se situam perto dos limites da propriedade<sup>191</sup>, tendo como objectivo a evitar o risco de propagação de incêndio de

<sup>188</sup> O regulamento Canadiano para construção residencial inclui cláusulas para a resistência a forças horizontais de vento e de sismo. Estas são baseadas num sistema de níveis de risco, não havendo necessidade de exigências especiais para áreas de risco baixo e moderado. O Canadian Wood Council “Engineering guide for wood frame construction” especifica forças laterais e dimensionamentos para estas situações (CMHC, 2013a, p. 2).

<sup>189</sup> Onde for requerida uma maior resistência devido a um maior risco de exposição ao sismo ou ao vento, podem ser utilizados painéis de revestimento de parede e pavimento de espessuras superiores e utilizados afastamentos de pregagem ou aparafusamento mais próximos que o normal.

<sup>190</sup> Em algumas zonas dos Estados Unidos da América, podem ser exigidas, por exemplo, travessas de pavimento de secções superiores a 2"x6" (Haun, 2008, p. 41). Em alternativa às regras prescritivas, as soluções podem ser obtidas por cálculos de Engenharia. Nas zonas de exposição extrema (residuais no Canadá), os edifícios devem ser sempre sujeitos a cálculo de Engenharia (CMHC, 2013a, p. 91).

<sup>191</sup> As exigências para tipos de edifícios agrupados em banda e para habitação colectiva são mais complexas do que para as habitações unifamiliares porque a disseminação do fogo de uma unidade para outra pode ocorrer sem que os ocupantes se apercebam.



uma casa para outra. Outras medidas incluem a instalação de detectores de fumo<sup>192</sup>, a definição de caminhos mínimos de fuga e saídas por janelas de quartos e a definição de distâncias de segurança em redor de dispositivos de aquecimento e de cozinha, para além das já referidas regras para protecção das estruturas de madeira próximas das chaminés<sup>193</sup> (CMHC, 2013a, p. 138).

#### 3.1.3.3 SAÚDE - RETICULAODS

A estanquidade da envolvente e em especial da cobertura é o processo mais eficaz para prevenir a infiltração de água nos espaços habitáveis, evitando as humidades no interior das estruturas que são propícias ao crescimento de bolores que podem originar de saúde (CMHC, 2013a, p. 147). A formação de bolores previne-se também através da redução das pontes térmicas na envolvente e da correcção dos pontos frágeis que podem surgir como consequência da instalação das infraestruturas.

#### 3.1.3.4 AMBIENTE - RETICULADOS

Durante a construção, uma das medidas típicas de sustentabilidade<sup>194</sup> e eficiência consiste na redução dos recursos utilizados: espaços de menores dimensões são menos consumidores de energia de climatização; o uso de dimensões espaciais coordenadas com as dimensões normalizadas dos elementos de construção reduzem o consumo de materiais; as técnicas avançadas de reticulado (*AFT advanced framing techniques*) reduzem a quantidade de madeira da estrutura; a medição rigorosa de materiais (e respectiva encomenda) permite reduzir desperdícios<sup>195</sup>; a protecção dos materiais em obra reduz o risco de danos e a necessidade de compra de materiais de substituição; a utilização de maiores espaçamentos de montantes e vigotas reduz o consumo de materiais; a utilização (aproveitamento) de desperdícios de construção como elementos de travamento, tarugagem, ligação, e vedação evita o uso de materiais novos; a armazenagem e selecção de materiais para reciclagem reduz os resíduos e promove reutilizações futuras (CMHC, 2013a, p. 92). Outras medidas de sustentabilidade ambiental consistem em prever os usos futuros, o que pode obrigar a correcções no dimensionamento da estrutura<sup>196</sup>.

A utilização de produtos mais eficientes como os derivados da madeira promove uma redução na quantidade de madeira utilizada. Assim, como a adopção de processos de projecto AFT (*advanced frame techniques*), a utilização de vigas I-Joists, LVL e PSL pode constituir um factor de sustentabilidade (CMHC, 2013a, p. 107). A escolha de vigotas pré-fabricadas conduz à utilização de menos madeira e permite vencer maiores vãos. Estas normalmente são desenhadas para as condições climáticas específicas da obra, são mais rápidas de montar, existem para todos os tipos de coberturas e eliminam a necessidade de cortes em

<sup>192</sup> O *National Building Code* do Canadá exige que os equipamentos de detecção de fumo e fogo sejam colocados próximo do tecto, perto de cada quarto, em todos os pisos. Os detectores de fumo devem estar ligados a circuitos eléctricos não devendo haver interruptores para os desactivar. São admitidos detectores com alimentação por bateria quando não houver instalação eléctrica.

<sup>193</sup> Quando for necessário abrir vazios para a passagem de chaminés devem ser previstas juntas em relação à chaminé de 50mm (2") para segurança contra incêndio. Esta dimensão pode ser reduzida para 12mm (1/2") em chaminés exteriores (CMHC, 2013a, p. 138).

<sup>194</sup> Rever, Reduzir, Reutilizar, Reciclar.

<sup>195</sup> Uma parte significativa do custo dos produtos de madeira reside na energia utilizada na secagem e transporte para a obra. Um planeamento cuidadoso, contemplando o armazenamento, o manuseamento e a montagem minimizarão os desperdícios e os custos.

<sup>196</sup> O uso do espaço do ático quando previsto no projecto proporciona um espaço habitável muito económico uma vez que providencia mais área sem aumentar a implantação. Em projectos que não o contemplam inicialmente, deve ser prevista a facilidade de expansão: previsão de implantação das escadas, dimensionamento das estruturas, e níveis de isolamento. Deve-se ter atenção à racionalização da inclinação da cobertura e deve prever-se a pré instalação das infraestruturas (CMHC, 2013a, p. 135).

obra (CMHC, 2013a, p. 135). O mesmo raciocínio será válido para a utilização de painéis de parede e de pavimento, bem como para as asnas e os blocos de fundação pré-fabricados.

A racionalização da construção aplica-se tanto na fase de projecto como durante a obra. Os montantes encomendados por exemplo devem ser pré cortados em fábrica na dimensão de projecto para evitar os desperdícios efectuados em obra. A adopção de afastamentos entre montantes e vigota de cobertura com as dimensões normalizadas de 609mm (24") ou 406mm (16"), permitem coordenar as várias dimensões de mercado dos elementos de construção, nomeadamente as placas de OSB, os painéis de contraplacado e de gesso e os painéis de isolamento rígido (CMHC, 2013a, p. 117).

#### 3.1.3.5 PROTECÇÃO CONTRA O RUÍDO (ISOLAMENTO ACÚSTICO) - RETICULADOS

Não se prevêem exigências regulamentares para controlo adicional de ruído em habitações unifamiliares<sup>197</sup> porque os ocupantes podem adoptar medidas voluntárias de mitigação. No entanto o som propagado entre os espaços de uma casa pode ser controlado através de medidas construtivas. Essas devem incidir na escolha dos materiais dos pavimentos e das paredes de compartimentação e na redução dos caminhos de transmissão entre as ligações dos elementos construtivos. Em zonas sujeitas a ruído exterior significativo, deve ser previsto um projecto acústico (CMHC, 2013a).

#### 3.1.3.6 ECONOMIA DE ENERGIA E ISOLAMENTO TÉRMICO - RETICULADOS

O National Building Code do Canadá (2010), contempla as exigências mínimas de eficiência energética que afectam a envolvente construída, os sistemas de aquecimento de águas e os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (CMHC, 2013a, p. 5). Como princípio geral, todos os componentes que separem os ambientes condicionados termicamente dos não condicionados devem ser isolados. No caso do Canadá, o NBC determina o valor de isolamento de cada componente da envolvente construída para seis diferentes zonas climáticas (CMHC, 2013a, p. 18). O valor de isolamento efectivo resulta da combinação do valor U dos montantes, dos painéis, dos revestimentos interiores e do isolamento térmico<sup>198</sup>. (CMHC, 2013a, p. 18).

##### **Controlo da transmissão de calor na envolvente construída**

O controlo dos fluxos de calor entre ambiente exterior e interior deve ser efectuado através da aplicação de materiais termicamente isolantes. A envolvente construída deve proporcionar um adequado comportamento térmico, nomeadamente promovendo-se a redução da resistência térmica devido a factores como a permeabilidade ao ar, os fluxos de calor por convecção, as pontes térmicas e a humidade.

Ainda que a madeira utilizada na estrutura tenha um comportamento térmico considerado favorável, são necessários materiais de isolamento para proporcionar um nível suficiente de resistência térmica (CMHC, 2013a, p. 46). No Canadá podem ser utilizadas no projecto as já referidas tabelas prescritivas (NBC) que indicam níveis de isolamento adequados a cada elemento do edifício, podendo em alternativa ser calculado o comportamento térmico de uma

<sup>197</sup> Nos casos de duas unidades residenciais independentes adjacentes deve prever-se isolamento adicional entre os elementos comuns. Este isolamento pode ser realizado através da introdução de materiais acústicos e canais resilientes num dos lados da parede e painéis de 12,7mm (1/2") nos tectos e em ambos os lados das paredes.

<sup>198</sup> Os elementos estruturais, as tubagens e as canalizações reduzem o espaço de isolamento e por isso o valor de isolamento efectivo da construção é em princípio inferior ao nominal.

dada solução em relação ao comportamento de uma solução de referência que obedece às exigências regulamentares<sup>199</sup> (CMHC, 2013a, p. 47).

Nos pavimentos das caves não se utiliza em geral isolamento sendo este apenas necessário em algumas zonas mais frias e se as exigências funcionais obrigarem a que as caves sejam aquecidas. Utiliza-se para estas situações normalmente o poliestireno extrudido porque é resistente à água e às cargas do pavimento (CMHC, 2013a, p. 48). Quando as paredes das caves encerram espaços climatizados, utiliza-se normalmente o isolamento exterior que deve ser colocado pelo menos até à base do pavimento do espaço condicionado. Em alternativa, o isolamento térmico pelo interior pode ser realizado, separando este da parede de betão por uma barreira impermeável<sup>200</sup> (CMHC, 2013a, p. 50).

Como foi referido antes, utilizam-se tipicamente elementos de estrutura de parede com secções de 38mmx140mm (2"x6" nominais) com isolamentos não rígidos que preenchem os vazios criados. Para zonas mais frias utiliza-se um isolamento adicional no exterior ou no interior da estrutura da parede (CMHC, 2013a, p. 48). Em geral, para as paredes acima do solo, há três formas principais de isolamento. A primeira aplica-se a zonas climáticas mais quentes contemplando o referido isolamento térmico no interior dos montantes. A segunda aplica-se a zonas mais exigentes, colocando-se isolamento térmico adicional do lado exterior ou do lado interior do reticulado estrutural. Pode ser ainda utilizada uma terceira solução com uma parede reticulada dupla com duas armações afastadas por um espaço cuja função é evita as pontes térmica e que é enchido com material isolante. Entre estas duas estruturas deverão ser instalados ligadores de OSB ou de contraplacado (CMHC, 2013a, p. 53).

Deve evitar-se a instalação de infraestruturas em paredes exteriores, mas sendo necessário fazê-lo deve ser mantida a continuidade do plano de isolamento e da barreira contra a entrada de ar (CMHC, 2013a, p. 55). À excepção das varandas e pálas, qualquer elemento que penetre numa parede exterior ou cobertura quebrando a continuidade do isolamento deve ser isolado nas suas faces interiores e exteriores, numa dimensão até quatro vezes a espessura da penetração na parede isolada, com materiais de isolamento de resistência térmica não inferior à requerida para a parede exterior (CMHC, 2013a, p. 48).

Os pavimentos sobre espaços de serviços vazios e sobre garagens devem também ser isolados, sendo normal colocar isolamento entre o painel de revestimento do pavimento e o painel de gesso de tecto (CMHC, 2013a, p. 55). Nas coberturas, normalmente utilizam-se vigotas que têm pelo menos 250mm (10") de altura, sendo o espaço entre elas utilizado como isolamento térmico. A cobertura<sup>201</sup> que encontra uma parede deve ter o mesmo nível de isolamento ou superior ao dessa mesma parede. O mercado fornece produtos com faixas de isolamento com dimensões fixas que correspondem ao afastamento normalizado das vigas de cobertura (CMHC, 2013a, p. 56).

### 3.1.3.7 BARREIRA AO AR E ESTANQUIDADE - RETICULADOS

Para além de um isolamento térmico contínuo na envolvente construída, é necessário ser definido um sistema contínuo de barreira ao ar propiciando conforto térmico através da

<sup>199</sup> Os níveis de isolamento prescritos são calculados em função do valor de graus dias de aquecimento de um dado local. Os graus dias de aquecimento são a soma das diferenças entre 18°C e a temperatura média para cada hora de cada dia do ano quando a temperatura é inferior a 18°.

<sup>200</sup> É cada vez mais utilizada a solução do isolamento por cofragem perdida (*ICF Insulating Concrete Form*), sendo as paredes moldadas em cofragens perdidas de poliestireno que formam o isolamento térmico da parede (CMHC, 2013a, p. 51).

<sup>201</sup> Para além do isolamento deve ser reservado um espaço para a ventilação da cobertura através da entrada de ar no intradorso dos beirados. No caso de coberturas planas, deve ser previsto um espaço acima do isolamento e por baixo do painel superior de revestimento para prevenir as condensações. Outra alternativa é colocado o isolamento sobre a cobertura, utilizando-se normalmente o poliestireno protegido por uma membrana e eventualmente por inertes (CMHC, 2013a, p. 58).

redução de perdas e evitando a condensação nas paredes e nos tectos. Adicionalmente uma barreira de vapor prevenirá a migração do vapor de água para o interior dos reticulados e do isolamento. A barreira contra a entrada de água, por outro lado, será uma membrana de revestimento que em princípio deve ser instalada sobre os painéis de revestimento dos reticulados para prevenir a migração de água que penetra do exterior para os componentes estruturais. Esta barreira deve ser transpirante, ou seja deve permitir que o vapor que migra a partir do interior possa dissipar-se para o exterior.

#### **Controlo de entrada de água na envolvente**

Nas paredes acima do solo, a protecção da entrada de água da chuva na estrutura de madeira faz-se em primeiro lugar através da camada exterior de revestimento, sendo as membranas impermeáveis uma segunda barreira de protecção que no entanto deverão permitir a difusão de vapor para o exterior da parede reticulada. Em climas quentes, ou em situações muito expostas à humidade ou à chuva<sup>202</sup>, em que os ciclos de entrada de água não permitam a sua secagem, será necessária uma caixa-de-ar<sup>203</sup> entre o primeiro e o segundo plano de protecção (numa configuração designada por *rain screen*). Esta caixa-de-ar permite que a água drene imediatamente por gravidade pela face anterior do acabamento ou da membrana instalada, proporcionando também a secagem por evaporação e por intermédio das trocas de ar que se efectuam naturalmente.

A barreira contra a entrada de água no sistema de reticulados leves convencionais é efectuada normalmente com uma membrana exterior (*sheathing membrane*) que é aplicada sobre o painel estrutural de OSB ou de contraplacado em tiras horizontais, sobrepostas e agrafadas<sup>204</sup>. Quando se aplica isolamento rígido ou semi-rígido sobre o painel exterior da estrutura, a membrana exterior (de feltro saturado de asfalto, *building paper*, ou outras membranas comerciais) pode ser aplicada sobre a face exterior desse isolamento. Quando o isolamento não necessite de ser protegido da humidade, essa membrana pode ser aplicada directamente sobre o painel estrutural. Alguns materiais de isolamento rígidos (como o poliestireno extrudido) são impermeáveis ao vapor pelo que deve haver cuidado na selecção dos acabamentos exteriores e nos detalhes para que a água não se acumule antes do isolamento exterior. Perante este risco deve-se proceder à selecção de materiais com menos possibilidade de retenção de água e maior permeabilidade ao vapor como as fibras minerais (CMHC, 2013, p. 36).

Nos pavimentos das caves normalmente aplica-se uma tela de polietileno à prova de humidade sobre um material granular antes da laje de betão. Quando a presença de água é relevante será aplicada também uma membrana impermeável sobre uma laje de pelo menos 75mm (3"), sobre a qual é aplicada uma segunda laje com pelo menos a mesma espessura da primeira. Essa membrana deve ligar-se à parede, estendendo-se através da sua dobragem na vertical, de modo a formar uma selagem completa (CMHC, 2013a, p. 35). Nas paredes sob o nível do solo utiliza-se uma primeira barreira impermeável (normalmente um betuminoso), sendo a segunda constituída pelo próprio betão. Devem ainda ser adoptadas

<sup>202</sup> O índice de humidade (IM - Moisture index) numa determinada região permite avaliar a necessidade de uma caixa-de-ar. Este índice está definido para várias zonas do Canadá.

<sup>203</sup> A caixa-de-ar deve ter na base uma tela de protecção de insectos para evitar deterioração dos materiais e obstrução do espaço.

<sup>204</sup> A membrana será aplicada com sobreposições iguais ou maiores que 100mm (4"). Quando não forem instalados painéis de revestimento sobre a estrutura (o que é muito pouco comum), devem ser utilizadas duas membranas sobrepostas, aplicados verticalmente com 100mm ou mais de sobreposição ao longo dos montantes. No caso de serem utilizados painéis de acabamento exterior de grandes dimensões como os de contraplacado esta duplicação não é necessária. (CMHC, 2013, p. 36).

medidas adicionais de protecção, contemplando membranas impermeáveis, um sistema de protecção e a execução, o tratamento de juntas e o controlo de fissuras.

Em coberturas com uma inclinação superior a 1:6, pode ser aplicado apenas uma tela impermeável sobre o painel de revestimento para eliminar a possibilidade de entrada de água que ultrapassa a primeira barreira constituída pelos acabamentos (*shingles*, metal, cerâmicos). As coberturas com menor inclinação que 1:6 requerem um sistema à prova de água mais robusto (normalmente mais de uma membrana com camadas de betuminoso com juntas sobrepostas e soldadas) (CMHC, 2013a, p. 37).

#### **Controlo da difusão de vapor de água na envolvente**

As actividades humanas como a confecção de alimentos, as lavagens, os banhos, etc. originam grandes quantidades de vapor, aumentando assim a humidade do ambiente interior. O vapor de água produzido, e o diferencial da pressão do vapor, especialmente no Inverno (quando o ar interior contém mais vapor que o exterior), produz uma força que provoca a sua migração através da envolvente do edifício penetrando nos materiais por difusão. Assim que o vapor de água se difunde através da estrutura, pode condensar nas superfícies frias como ocorre frequentemente na face interior do painel exterior de revestimento da parede provocando a deterioração deste e dos elementos adjacentes (CMHC, 2013a, p. 44). Para combater este efeito utilizam-se barreiras de vapor (como as telas de polietileno por serem muito resistentes à difusão do vapor) devendo estas ser relativamente contínuas embora possam ser interrompidas através de penetrações como acontece com as vigas de pavimento (*floor joists*). Esta barreira não necessita de ser selada, a não ser que faça parte do sistema de barreira ao ar devendo neste caso ser contínua e completamente estanque (CMHC, 2013a, pp. 17, 45). No caso de Portugal, não é correntemente utilizada uma barreira de vapor, cumprindo os revestimentos, como os painéis de gesso, esta função.

As barreiras de vapor devem ser localizadas no lado quente dos materiais de isolamento, excepto quando se distribui o isolamento térmico de forma a que menos de um terço do valor total de isolamento (R) esteja localizado no lado interior da barreira de vapor (CMHC, 2013a, p. 44). Apesar do polietileno ser a barreira de vapor mais utilizada nas casas Canadianas podem ser utilizados outros materiais como as folhas metálicas, o poliestireno, a espuma de poliuretano, etc. Pode recorrer-se ainda a outras soluções como por exemplo as pinturas de pára vapor nos painéis de gesso. Também os espaços entre as vigas de pavimento, na zona de encontro com as paredes exteriores devem ser preenchidos com uma barreira de vapor, bem como os pavimentos que separam os espaços climatizados da residência, dos espaços não climatizados da cobertura (CMHC, 2013a, pp. 45, 46).

#### **Controlo da permeabilidade ao ar na envolvente**

Os movimentos de ar entre interior e exterior dão-se devido a diferenciais de pressão entre ambientes devido ao vento e aos sistemas de ventilação. Para evitar os efeitos nefastos destas trocas, como as condensações sobre superfícies frias e a deterioração dos componentes da envolvente construída, as estruturas de reticulados leves devem ser construídas o mais estanques possível. A barreira ao ar (*air barrier*), protegerá a envolvente construída e promoverá o conforto térmico e a economia de energia, contribuindo ainda para eliminar a transmissão de ruídos e odores. (CMHC, 2013a, p. 37). A barreira de ar é mais importante que a barreira de vapor uma vez que o movimento de ar entre fissuras e aberturas transporta quantidades de vapor de água cerca de 30 vezes superiores à transportada por difusão através dos materiais.

O NBC estipula que a envolvente construída seja protegida com um sistema de barreira contínua. O controlo da permeabilidade ao ar requer uma barreira contínua contemplando o pavimento em contacto com o solo, as paredes exteriores, os tectos adjacentes e a coberturas. As telas de polietileno são utilizadas normalmente como barreira de ar na construção reticulada leve e são relativamente fáceis de aplicar e selar. Adicionalmente ao polietileno podem utilizar-se outros materiais que funcionam como parte da barreira de ar, como as telas comerciais transpirantes (*spun-bonded polyolefin*), os painéis de gesso, os selantes, a espuma, o isolamento rígido, o betão, o contraplacado, os painéis OSB, o metal, o vidro, etc. O controlo da entrada de ar faz-se também, através da inclusão de materiais de baixa permeabilidade ao ar, da selagem das juntas e pontos de penetração (pregos, parafusos, infraestruturas, utilizando fitas, anéis ou placas vedantes, espumas, selantes e membranas (CMHC, 2013a, p. 37).

A barreira de ar pode ser colocada em várias posições, mas no Canadá é frequente utilizar-se uma combinação de barreira de ar e de vapor através de uma tela de 0,15mm de polietileno sob os painéis de gesso de parede e de tecto (sob a cobertura), sendo seladas as juntas de janelas, portas e outras intersecções. Quando se utiliza esta combinação, a barreira (de ar e de vapor) deve estar situada no lado quente da envolvente, suportada tanto pelos painéis de gesso como pelos reticulados de madeira, para minimizar as possibilidades de condensação no interior dos componentes da estrutura. Os painéis de gesso interiores devidamente selados a outros materiais de impermeabilização ao ar podem fazer parte integrante do sistema de barreira ao ar<sup>205</sup>.

Noutros contextos, especialmente em casos em que o isolamento térmico é colocado no lado exterior das paredes de reticulados, utiliza-se a solução da barreira de ar no exterior. Nos casos em que a barreira de ar for colocada no lado exterior do isolamento térmicos esta deve ser permeável ao vapor para que os reticulados possam expulsar a humidade para o exterior.

A barreira de ar nos pisos de cave pode ser realizada com uma laje de betão ou com uma tela de polietileno. A barreira de ar do pavimento deve ser selada às paredes das caves, devendo também a barreira de ar das paredes de cave ser selada na junção com as paredes do piso superior (CMHC, 2013a, p. 38).

As ligações e transições entre janelas, portas, paredes e tectos devem ser tomadas estanques ao ar através da selagem das juntas entre a barreira de ar e os aros. Também devem ser estanques os volumes balançados, os pavimentos sobre espaços não aquecidos e os elementos de atravessamento como ductos e chaminés (CMHC, 2013a, p. 41).

Normalmente instala-se a barreira de ar antes de instalar as divisórias interiores, por ser mais fácil concretizar assim ligações estanques entre as travessas de topo e o tecto. De outro modo, quando as divisórias interiores são construídas antes dos tectos, as travessas de topo e os montantes de topo das divisórias são cobertos com faixas de tela com pelo menos 450mm (18") de largura que depois são dobradas e seladas às telas de barreira das paredes e dos tectos (CMHC, 2013a, p. 43).

---

<sup>205</sup> Quando a barreira de ar está no lado interior dos reticulados, pode ser facilmente selada à face inferior da estrutura da cobertura. As vigotas de pavimento (*floor joists*) no entanto interrompem a continuidade da barreira de ar, sendo uma boa prática envolver a vigota de bordadura (*rim joist*) com uma tela permeável ao vapor, desde o interior da parede até ao exterior da vigota e dobrando no plano em que assenta a parede de nível superior. Esta tela deve depois ser selada à barreira de ar de polietileno da parede superior. Também na junção entre a parede de fundação e a travessa de base e os topos das vigotas e o painel de sub-pavimento deve haver uma barreira ao ar através da instalação de selantes entre elementos<sup>205</sup> (CMHC, 2013a, p. 39). Com a barreira de ar localizada no interior da envolvente construída, os cabos da instalação eléctrica, as tomadas e os interruptores devem também ser vedados ao ar (CMHC, 2013a, p. 40).

### 3.1.3.8 DURABILIDADE - RETICULADOS

A madeira é durável desde que seja mantida seca, ou desde que tenha a oportunidade de secar depois de sujeita a condições de humidade acima dos limites aceitáveis. A sua protecção é assegurada através da boa concepção arquitectónica, dos correctos procedimentos de construção, do armazenamento seguro do material e do seu manuseamento. Os diversos procedimentos de prevenção da degradação da madeira relacionam-se com o controlo de água, de vapor e de calor ao longo da envolvente construída, incluindo a prevenção de entrada de água nas caves de betão armado. Exige-se então uma concepção cuidadosa dos seguintes elementos: cobertura, revestimentos, capeamentos, barreiras de vapor, barreiras de ar, espaços de cobertura ventilados, janelas e portas requerem cuidados especiais. Quando não se pode recorrer a estes procedimentos, a madeira deve ser tratada quimicamente<sup>206</sup>.

A madeira mesmo em situações expostas pode ser usada sem tratamento biocida se for afastada do solo e se puder secar entre ciclos de humificação. Os topos das paredes de fundação devem ser mantidas pelo menos 200mm (8") acima do solo, sempre que sobre ela assentem elementos ou revestimentos de madeira. O nível do terreno num espaço de serviço sob o pavimento (*crawl space*) deve estar situado pelo menos 300mm (12") abaixo de vigas e vigotas de madeira. A madeira quando assente sobre uma laje de betão ou sobre uma fundação, se não for tratada, deve ser separada com uma barreira de humidade, caso contrário deve ser tratada. Quando a base ou os topos de uma vigota de madeira estiverem abaixo do nível do solo (numa cave por exemplo), esta deve ser rodeada de uma caixa-de-ar nos topos e nas faces de modo a prevenir contacto com o betão, caso contrário deve ser também tratada. A referida caixa-de-ar deve ser ventilada e não deve ser enchida com isolamento, barreiras de vapor ou materiais estanques (CMHC, 2013a, p. 94). Quando os elementos da estrutura não tratados estiverem a uma distância inferior a 150mm (6") da superfície do pavimento, estes devem estar separados da base em que assentam por uma barreira anti-humidade.

No caso da cobertura, a vida útil dos revestimentos depende em grande parte das condições de limpeza. Se se evitarem a acumulação de folhas, ramos e poeiras, através do corte de ramos de árvores próximas e de um programa de manutenção e limpeza, previnem-se os problemas relacionados com a acumulação de humidades nos revestimentos de acabamento e a consequente degradação (CMHC, 2013a, p. 147).

O controlo de térmitas<sup>207</sup> começa com o bloqueio das rotas mais acessíveis a partir do solo para as estruturas de madeira. Os pontos de entradas mais comuns são as juntas das fundações (as térmitas penetram por orifícios de 0,8mm) e os elementos de contacto vertical entre solo e pavimento. As medidas de prevenção consistem em afastar as estruturas de madeira do solo, remover os elementos e resíduos de madeira do terreno envolvente (à superfície ou enterrados), minimizar as juntas nas lajes e nas paredes, promover barreiras

<sup>206</sup> Em situações em que a madeira não possa ser mantida seca, devem promover-se medidas de tratamento. Químicos como o ACQ e CA são os produtos mais comuns usados nos produtos de construção residencial e distinguem-se pela sua cor verde. O Borato usado correntemente não tem cor e resulta numa penetração mais profunda na madeira, comparativamente aos restantes métodos. No entanto este tende a ser expulso da madeira se exposto à chuva pelo que é aprovado apenas em situações em que esteja protegido de exposição directa à humidade (CMHC, 2013a, p. 7). Na madeira tratada devem incorporar-se apenas ferragens galvanizadas a quente ou de aço inox. Se a madeira tratada tiver que ser cortada em obra, os topos cortados devem ser tratados até a impregnação ser total. O manuseamento de madeira tratada deve ser realizado com luvas e quando houver necessidade de corte deve usar-se máscara, para além disso, a madeira tratada não deve ser queimada e os desperdícios devem ser tratados de acordo com os regulamentos.

<sup>207</sup> As térmitas subterrâneas são responsáveis por 95% dos danos causados por térmitas nos EUA, ocorrendo os ataques onde a temperatura média anual é superior a 10°C e onde os solos são suficientemente húmidos. No Canadá as zonas de térmitas são muito restritas a zonas muito específicas a sul.



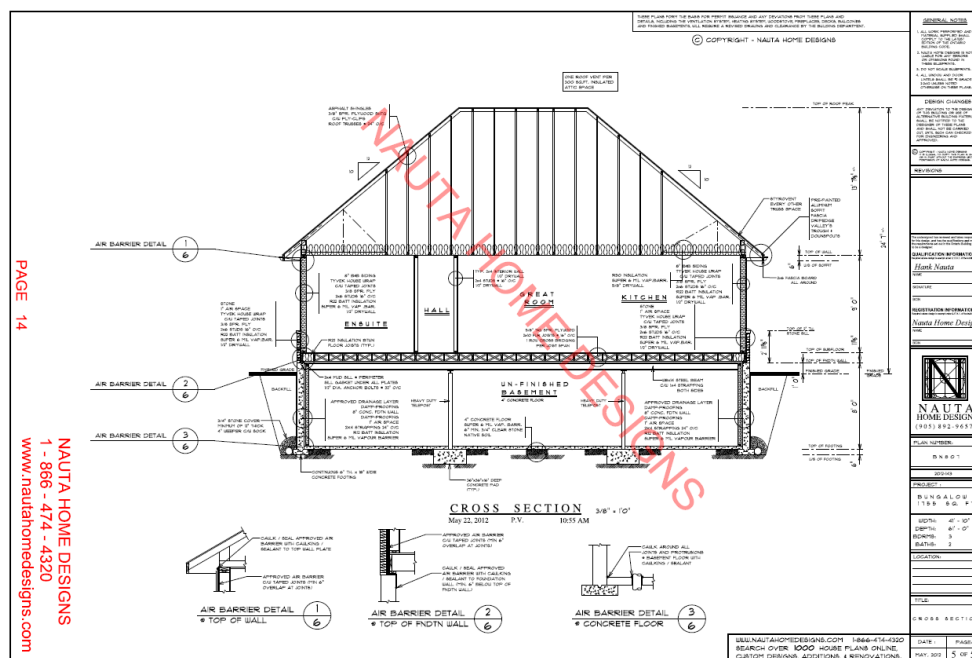


Fig. 235 - Exemplo de peça desenhada fornecida num processo da empresa Nauta Home designs (Nauta Home Designs, 2015).

que obriguem as térmitas a percursos visíveis e ainda proporcionar os meios para manter seco o solo das fundações através de um eficaz sistema de drenagem<sup>208</sup> (Wing, 2009).

### 3.1.4 PROCESSOS - RETICULADOS

O processo de construção de uma casa de madeira em reticulados leves é descrito no manual da instituição de voluntários Habitat for Humanity como uma sucessão de operações que começa com a fase preliminar de preparação, incluindo a obtenção de licenças e o planeamento, seguida das seguintes fases: fundações, pavimento, paredes, telheiros, decks e escadas exteriores, cobertura, portas, janelas, revestimento exterior de paredes e pintura, infraestruturas, isolamento e telas interiores, revestimentos de paredes interiores e pinturas, acabamentos de pavimentos, mobiliário integrado e guarnições, acabamentos finais e correcções (Haun, 2008, pp. 18-23).

Relativamente aos processos de fabrico, transporte e montagem, o sistema construtivo de painéis reticulados exige um conjunto de medidas comuns a todos os sistemas: os materiais armazenados em obra devem ser protegidos e sempre que possível devem ser transportados com o mínimo intervalo de tempo antes de serem utilizados; os locais de armazenagem devem ser secos e bem drenados; o conteúdo de humidade dos elementos de madeira na altura da montagem não deve exceder 19%; a madeira estrutural e de revestimentos deve ser armazenada a uma altura de 200mm a 250mm (8" a 10") acima do solo em suportes planos e protegidos por uma cobertura até serem utilizados (CMHC, 2013a, p. 14).

São necessárias cerca de duas semanas para completar a estrutura reticulada e a cobertura para que a obra possa ser considerada protegida dos elementos do clima nas subseqüentes fases de construção. O fecho da envolvente segue-se às fases de implantação da geometria

<sup>208</sup> Nas poucas zonas do Canadá sujeitas a risco de térmitas o afastamento entre os elementos estruturais e o solo deve ser pelo menos de 450mm (18") e não ser que a madeira seja tratada com biocidas anti térmitas (ACQ ou CA por exemplo). Os elementos estruturais devem ser visíveis para inspecção e detecção de térmitas (que pode ser feita através da visualização dos típicos canais de circulação). Quando as fundações forem isoladas ou construídas de modo a que escondam a actividade das térmitas, deve ser prevista uma barreira de metal ou de plástico sobre o isolamento e acima do nível do pavimento térreo para controlar visualmente o seu percurso de ataque.

do projecto, das escavações e execução de sapatas, fundações, aterros e instalação das drenagens (CMHC, 2013a, p. 21). Deve-se ter especial atenção à exposição dos componentes de construção a situações de humidade e em especial à chuva. Ao contrário dos elementos verticais que podem secar rapidamente depois de húmidos, os elementos horizontais necessitam de mais tempo. Depois de chover, os elementos de madeira devem poder secar antes de serem cobertos e fechados com painéis. Também só deve ser realizada a instalação de barreiras de vapor depois dos elementos no interior das caixas-de-ar e outras cavidades estarem completamente secos. A instalação de pavimentos de madeira e outras carpintarias não deve ser realizada até que a humidade resultante da cura do betão, dos acabamentos das divisórias e da chuva que eventualmente tenha entrado na construção, se tenha dissipado (CMHC, 2013a, p. 14).

O processo de projecto associado frequentemente à construção com reticulados leves na América do Norte pode ser exemplificado através da análise da empresa Canadiana de design de casas “Nauta Home Designs” (cf. figura 235). Esta empresa propõe uma abordagem ao projecto de Arquitectura que inclui a vertente do projecto personalizado “custom homes” e em alternativa fornece um catálogo de soluções, aberto no entanto a personalização:

*“Nauta Home Designs is a licensed designer of custom homes and house plans for Niagara, Ontario, and Canada. Our license with the Ontario Ministry of Housing provides us with a BCIN [Building Code Identification Number] number which is required for a building permit in Ontario. We provide customers with floor plans, house plans, and custom home designs. All of our house plans can be personalized or reversed to fit your needs. Our custom home design services allow you to create your dream home using our knowledge and expertise. We also offer 3D worlds, Landscape Design, and HVAC Design services to compliment your new home design or house plan. Contact us today to learn more about our services.” (Nauta Home Designs, 2015).*

Ao contrário dos serviços proporcionados tradicionalmente pelos Arquitectos que de algum modo oferecem uma “marca” associada ao autor, este tipo de empresas são orientadas para a satisfação imediata dos clientes, oferecendo um amplo leque de soluções pré-concebidas. As categorias “estilísticas” utilizadas pela empresa para agrupar a grande quantidade de projectos incluem os seguintes tipos: *backsplit, bungalow, cottage, detached garage, lakefront living, raised bungalow, semidetached, sidesplit, storey & 1/2, townhouse*, e *two storey*. O sítio da Internet da empresa permite ao utilizador efectuar procuras filtradas por estilos, área, número de quartos e instalações sanitárias, largura, lugares de garagem, acabamento da cave, e acabamentos exteriores, de entre um universo de mais de 1500 projectos de casas. O cliente pode comprar o projecto em formato de ficheiro pdf ou colecções completas do processo. A importância dos sistemas construtivos nesta abordagem é realçada por um dos textos do sítio em que se afirma haver uma relação entre o sistema construtivo e o sistema formal (design):

*“Because each type of construction requires specific design and structural requirements, be sure to select a designer with a high level of experience. Our level of expertise allows us to explain to each client not only the different benefits and costs of each construction method but also how their chosen method will affect their home design.” (Nauta Home Designs, 2015).*

Os diferentes sistemas construtivos considerados pela empresa são: os reticulados leves (wood-frame), os painéis leves tipo SIP (Thermapan SIP), os porticados (Timber post and beam) e ainda os sistemas alternativos em betão e em fardos de palha. Os reticulados leves são considerados o sistema dominante e o mais economicamente acessível:

*“Wood frame construction or technically “Platform” construction, is the most common type of construction in house building. This method provides both the structure and the framework, but is also very labour intensive. Cost is minimal compared to other types; but additional costs, such as vapour barriers, air barriers, and insulation must be*

considered. Wood Frame construction also creates a considerable amount of waste on each job site. However, most of our plans are designed with this type of construction due to the fact that it is the most common, industry accepted method" (Nauta Home Designs, 2015).

Na mesma linha, o sítio "House Plans" dos EUA disponibiliza um catálogo com milhares de projectos (cerca de 50.000) que podem ser procurados por características funcionais, espaciais e simbólicas. Neste caso, admite-se que o sistema construtivo é uma consequência do "estilo" escolhido. O leque de "estilos" apresentado é nesta empresa ainda mais variado: *cottage, country, craftsman, european, farmhouse, log home, mediterranean, modern, prairie, ranch, southern, southeastern, traditional, tudor e victorian*. Exceptuando o *southwestern*, o *log home* e o *craftsman*, quase todos os "estilos" têm por base os reticulados leves. Para além desta classificação em "estilos", apresenta-se também uma classificação por colecções que permitem uma escolha baseada noutro tipo de critérios: *signature plans, builder, energy efficient, houseplans picks, regional*, etc. (Houseplans, 2015).

Este sítio ("House Plans") aceita contribuições de vários Arquitectos e designers que podem colocar os seus projectos online e beneficiar da compra do projecto e da sua eventual personalização (que pode ser requerida pelo cliente). A colecção "*signature plans*", cujos projectos são mais caros, apresenta um directório dos Arquitectos que disponibilizam projectos no site. Cada projecto inclui plantas, cortes e alçados exteriores e interiores a uma escala de 1/4" (cerca de 1/50) e um corte construtivo com os detalhes notáveis. Inclui-se ainda uma lista de materiais como opção. Os preços são muito variáveis, mas um projecto (concebido por Arquitecto) pode custar cerca de \$1000, ou cerca de \$700 com informação apenas ao nível de estudo prévio. Adicionalmente pode-se obter uma estimativa de custo automática (com um custo de cerca de \$50), depois de se introduzir num formulário o nível de qualidade desejada (*Economy, Standard, Above average e Premium*) e o tipo de fundações do projecto (*Basement, concrete slab, crawl Space e Pier*). O projecto assim comprado é suficiente para obter orçamentos de empreiteiros e pode ser suficiente, ou não, para obter a licença de construção, dependendo do designer que elaborou o projecto (do nível de detalhe que introduziu) e das exigências do Estado ou da região onde se pretende construir o projecto.

Estas abordagens, habituais na América do norte são desconhecidas em Portugal, no entanto as empresas de construção de casas de madeira já adoptam um sistema semelhante ainda que com um universo de opções naturalmente restringido aos sistemas que comercializam. As conclusões sobre este tipo de metodologia colocam em evidência alguns aspectos associados à construção em madeira e em especial à construção com reticulados leves: a flexibilidade formal e a simplicidade. O sistema revela-se muito flexível do ponto de vista formal e simbólico adequando-se a opções arquitectónicas muito diversificadas tanto do ponto de vista do "estilo" como dos materiais. Finalmente a sua simplicidade permite uma certa normalização que permite, com poucas peças desenhadas, obter um projecto pronto para construir. A descrição normalizada dos projectos apresenta como informações construtivas básicas a estrutura das paredes exteriores e os acabamentos da envolvente. Verifica-se que na maior parte dos casos o primeiro parâmetro das soluções construtivas é: *Framing: 2"x6"*.

Nicholas Lee, um Arquitecto Norte-americano que contribui com projectos para o sítio "Houseplans" refere que tão importante como o design é o método:

"Design should be accessible to everyone. It's not only how something is designed, but how it's delivered - i. e. the process - that's important. I'm excited to be part of Houseplans' growing collection of architects and designers who are making high quality professional home design affordable and available to more people through ready-made plans." (Nauta Home Designs, 2015).

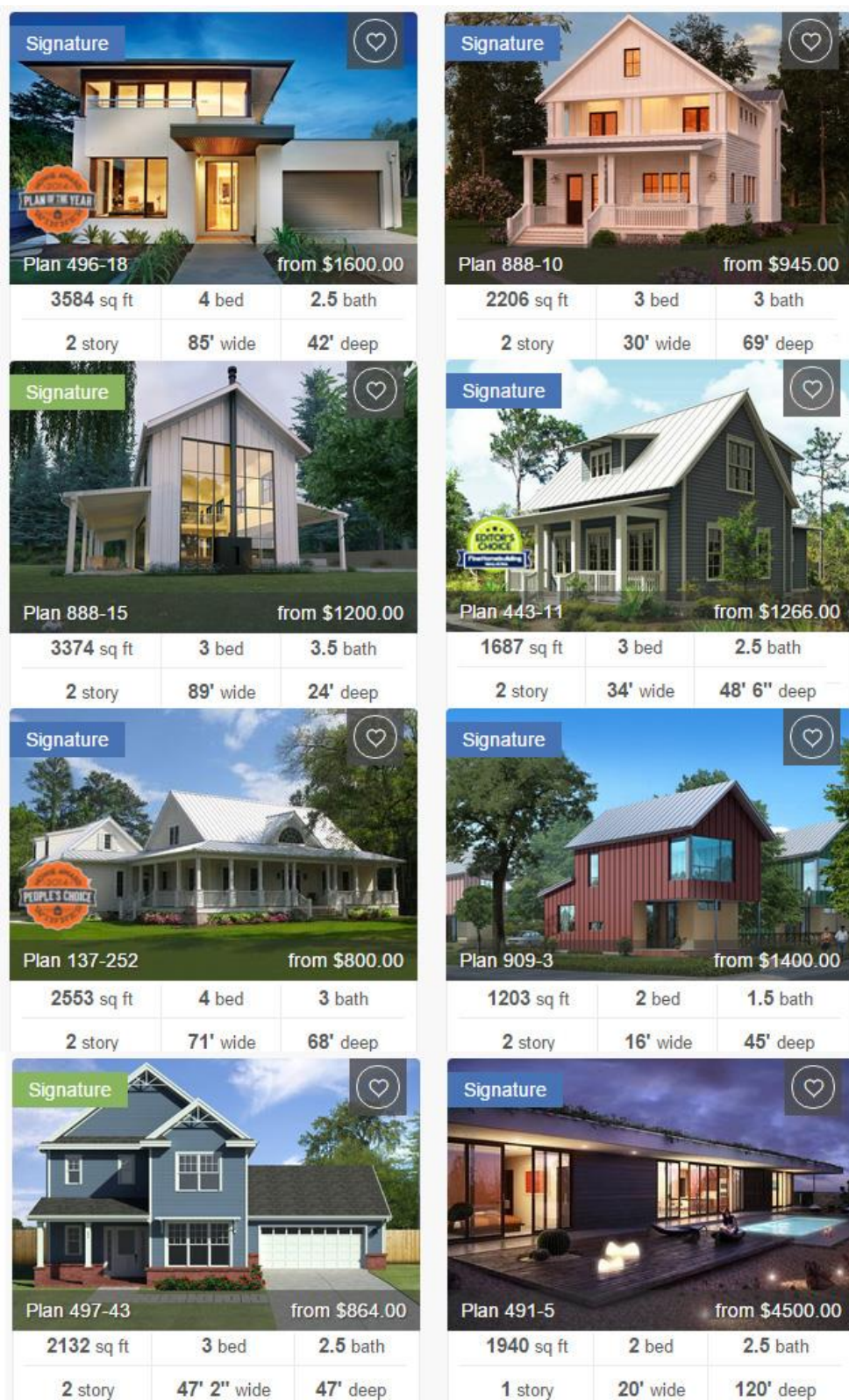


Fig. 236 - Projectos do site "Houseplans" da colecção "Signature", elaborados na maioria por Arquitectos e com construção em reticulados leves (Houseplans, 2015).



## 3.2 SISTEMA DE PORTICADOS

Pretende-se descrever o sistema construtivo de componentes porticados de madeira tendo em vista registar as condicionantes mais importantes para a definição do projecto de Arquitectura de habitações unifamiliares. O foco da descrição centra-se nos aspectos de maior relevância arquitectónica a ter em conta nas fases iniciais do projecto de Arquitectura. Os conteúdos específicos do cálculo estrutural, segurança contra riscos de incêndio, comportamento acústico e comportamento térmicos serão apenas abordados superficialmente e numa perspectiva arquitectónica.

As principais fontes de informação utilizadas foram as seguintes:

“Timber framing for the rest of us” (Roy, 2004)

“Systems in timber engineering” (Kolb, 2008)

Technologies de construction bois (Bignon & Critt-Crai, 2003)

“Heavy timber construction” (AWC, 2003)

“Construction de maisons à ossature bois” (Benoit & Paradis, 2008)

“The architect’s studio companion” (Allen & Iano, 2002)

“The timber frame home - Design, construction, finishing” (Benson, 1977) Lib

“Timber frame construction - All about post-and-beam building” (Sobon & Schroeder, 1984)

“Canadian wood-frame house construction” (CMHC, 2013a)

“Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5” (TRADA; IStructE, 2007)

“Out of the woods - Ecological Design for timber frame housing” (Borer & Harris, 2001)

### 3.2.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM PORTICADOS

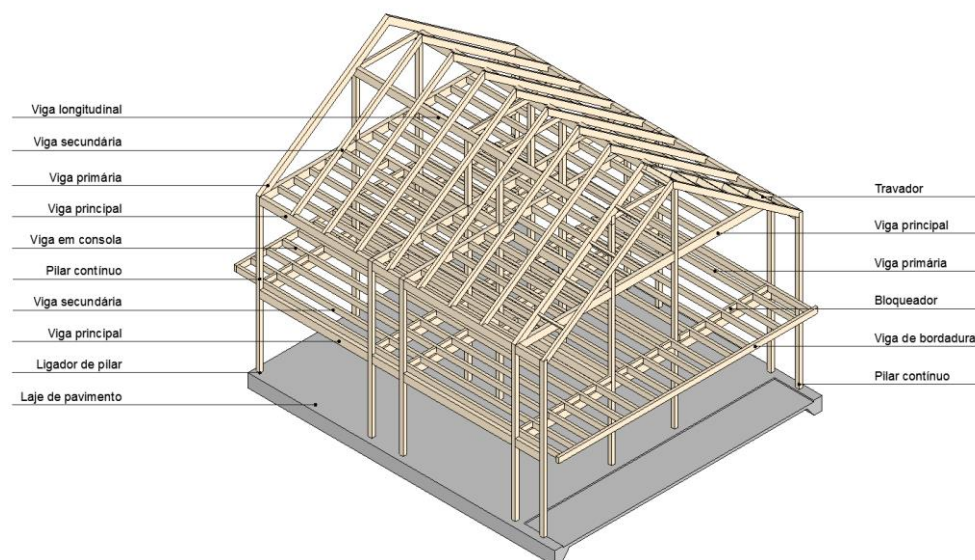


Fig. 237 - Sistema porticado aplicado numa moradia de dois pisos e cobertura inclinada (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).

#### 3.2.1.1 DESCRIÇÃO GERAL - PORTICADOS

O sistema de porticados é composto por vigas e pilares, transmitindo estes últimos as cargas às fundações de forma concentrada, numa disposição de elementos “pontuais” organizados segundo uma grelha que permite uma liberdade de compartimentação espacial superior à dos

sistemas com elementos de paredes de painéis e de reticulados. A estrutura secundária do sistema é constituída por componentes de pavimento que podem consistir em elementos lineares de madeira maciça ou em derivados de madeira ou ainda em elementos planos pré-fabricados. O sistema necessita de elementos adicionais de travamento para se obter um conjunto rígido. Estes podem assumir diversas formas: as escoras de madeira, os painéis reticulados, os painéis de aglomerados, os painéis tipo sanduiche (Structural Insulated Panels - SIPs) ou os cabos de aço. O sistema de fechamento da fachada exterior e de compartimentação interior em princípio é independente da estrutura, podendo no entanto fazer parte dela, assumindo a função auxiliar de contraventamento. Esta independência oferece a possibilidade de construir uma envolvente contínua exterior aos componentes estruturais. No interior, normalmente obtém-se vantagem da expressão estética dos elementos estruturais deixados à vista (vigas e pilares e por vezes as vigas de pavimento), proporcionando características arquitectónicas singulares.

A partir do século XIX os edifícios com estruturas porticadas de madeira passaram a estar mais associados a utilizações industriais, agrícolas e comerciais. Actualmente este sistema é adoptado principalmente em edifícios de maior dimensão, como os equipamentos desportivos, escolares, religiosos e culturais, não estando tão vocacionado para soluções de habitação corrente como estão os reticulados leves (AWC, 2003). Os sistemas porticados acolhem diferentes perspectivas arquitectónicas relacionando-se por um lado com uma procura específica do mercado habitacional ligado a opções formais desenvolvidas numa linha tradicional ("*traditional appearance*") (TRADA, 2008), da qual são exemplares os sistemas "*timber frame*" na América do Norte e os porticados revivalistas com madeira de Carvalho no Reino Unido. Por outro lado, na linha de algumas soluções de porticados desenvolvidas por Arquitectos do Movimento Moderno, as tendências recentes demonstram que os porticados se adaptam especialmente bem às soluções arquitectónicas contemporâneas uma vez que se adequam a organizações espaciais menos compartimentadas e com vãos espaciais e de fachada mais amplos.

Uma das características que historicamente se destacou neste sistema, em relação a outros mais leves, foi a sua maior resistência ao fogo. Devido a esta característica os porticados pesados sempre possibilitaram, à luz da maior parte dos regulamentos de construção, soluções arquitectónicas com maior área e maior número de pisos (AWC, 2003). Por exemplo nos Estados Unidos da América o International Building Code considera que os edifícios podem ser classificados como Tipo IV "*Heavy Timber Construction*" (HT) se os seus componentes estruturais de madeira tiverem os mínimos especificados, nunca inferiores a 4" (cerca de 10cm) e se as paredes exteriores forem construídas com materiais não combustíveis (betão, alvenaria, revestimento metálico) (Allen & Iano, 2002). A diferença entre os sistemas de madeira leves e pesados é dada normalmente por um limiar dimensional nas secções dos componentes (que varia de instituição para instituição e de país para país). Por exemplo o USDA (United States of America Department of Agriculture) Forest Service considera que "porticados tradicionais" são os sistemas que recorrem a componentes de secções de madeira superiores a 5" por 5" nominais (114mmx114mm reais) ligando-se entre si por juntas de encaixe (USDA Forest Service, 2010, pp. 17-7). No caso do Reino Unido, o termo "*heavy structural*" refere-se às regras de classificação de madeiras folhosas como o Carvalho e o Castanheiro quando as secções dos componentes forem superiores a 20.000mm<sup>2</sup> (e.g. 141.42x14.42mm) e a mínima dimensão for superior a 100mm (TRADA; IStructE, 2007).

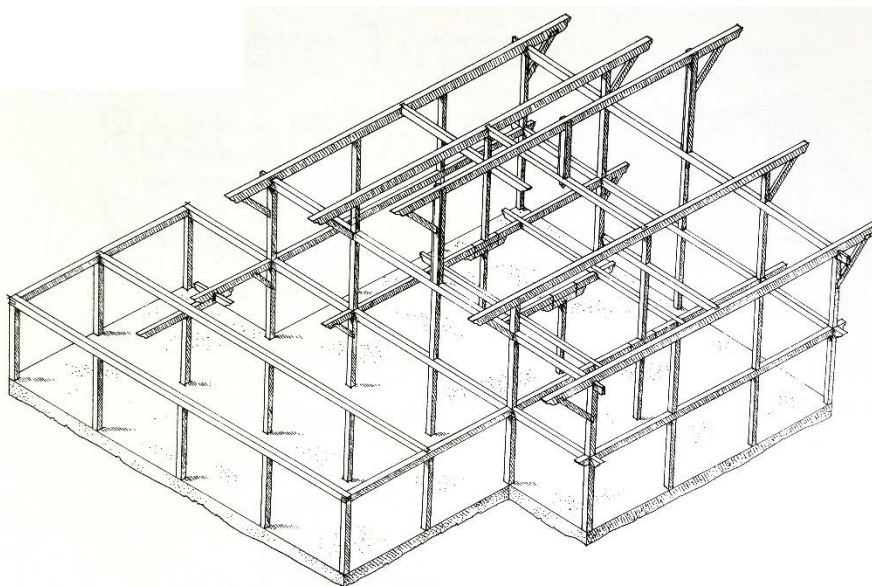


Fig. 238 - Estrutura porticada de uma habitação unifamiliar, com vigas contínuas e pilares interrompidos (Mitchel, 1997).

As espécies de madeira utilizadas são em geral as coníferas, sendo por exemplo em França utilizadas com mais frequência o Abeto, o Espruce e o Pinho Douglas (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 81). A madeira maciça utilizada na forma de madeira esquadriada ou redonda fatura muito frequentemente, pelo que para minorar este comportamento se adoptam habitualmente procedimentos preventivos. Normalmente evita-se a utilização de madeira sem medula e limitam-se as dimensões das secções dos componentes, podendo-se adoptar medidas específicas no desenho dos componentes como a introdução de sulcos anti-fenda. Devido a esta limitação, nas soluções em que as exigências arquitectónicas não exigem que os processos tradicionais de construção sejam recriados na íntegra, os componentes de madeira maciça tendem a ser substituídos pelos lamelados de madeira ou outros produtos derivados.

As ligações entre componentes que tradicionalmente eram realizadas com encaixes madeira-madeira são hoje executadas principalmente com ligadores metálicos (Kolb, 2008, p. 86). Essas diferenças permitem estabelecer a distinção entre porticados tradicionais tipo “*timber frame*”, com um amplo mercado na América do Norte e os porticados contemporâneos tipo pilar-viga. No entanto, na realidade das obras construídas essa distinção é por vezes dificultada pela adopção de processos híbridos.

As principais vantagens do sistema de porticados, para além dos benefícios ambientais comuns a todos os sistemas que decorrem do uso da madeira, são as seguintes:

1. O sistema faculta um processo de construção moderadamente rápido. A necessidade de utilização de componentes de fechamento de paredes, pavimentos e cobertura pode exigir fornecimentos e montagens de diferentes empresas ou equipas de trabalho que tornarão o processo mais moroso.
2. O sistema está associado a uma técnica de concepção e construção que exige conhecimento especializado.
3. O sistema construtivo deve ser concebido em projecto admitindo apenas alterações muito pontuais em obra.
4. O sistema não consome grandes quantidades de madeira, mas é muito exigente na qualidade visual e estrutural dos componentes.



5. O assentamento e retracção da madeira são factores a ter em conta na concepção, em especial na conjugação de elementos verticais e horizontais e na solução dos respectivos apoios.
6. A manutenção dos elementos estruturais poderá ser muito ou pouco exigente em função da opção de deixar elementos à vista no exterior ou de os proteger completamente através de um sistema da envolvente independente.
7. O sistema proporciona uma variedade grande de abordagens formais arquitectónicas, sendo facilmente adaptável a diferentes contextos. O sistema tem no entanto uma grande singularidade arquitectónica que é dada pelos elementos estruturais que podem ser deixados à vista no interior ou no exterior.
8. O sistema proporciona uma grande flexibilidade espacial da planta.
9. O sistema proporciona uma flexibilidade muito elevada na abertura de vãos na fachada.
10. As características de inércia térmica do sistema estão dependentes da escolha do sistema da envolvente.
11. As pontes térmicas do sistema estão dependentes da escolha do sistema da envolvente.
12. O sistema, comparativamente aos sistemas mais acessíveis (como os reticulados), é em princípio pouco económico.
13. Grande parte das empresas do sector em Portugal aplicam este sistema na habitação unifamiliar, especialmente em conjugação com outros sistemas.

Nos sistemas porticados, a independência da estrutura em relação ao sistema da envolvente construída é uma característica que é valorizada não só pela “liberdade arquitectónica” mas também pela liberdade tecnológica, que permite sistemas de fachada e cobertura muito diversos. Por este motivo os porticados estão vocacionados para serem conjugados com alguns dos sistemas alternativos-ecológicos em voga como o sistema de paredes com fardos de palha.

Em princípio os porticados são mais exigentes do que os reticulados leves e menos propícios à autoconstrução. No caso da América do Norte, os porticados tradicionais “*timber frame*” (cf. Figura 239) exigem uma maior qualificação dos carpinteiros envolvidos, mas segundo Roy (2004), um autor e construtor de estruturas “*timber-frame*”, o seu processo construtivo é mais facilitado que o dos reticulados leves porque para além de um número significativamente menor de componentes a montar, as tolerâncias dimensionais são maiores não havendo tanta necessidade de coordenação entre os diferentes componentes estruturais. Os porticados tradicionais são valorizados no contexto da tradição Norte Americana de autoconstrução (ou da utilização de pequenos construtores) quando se trata de construir a habitação unifamiliar porque, ainda segundo Roy (2004), o sistema “*timber frame*” necessita de apenas de uma equipa de duas pessoas<sup>209</sup> para a maior parte do trabalho a executar.

Quanto aos recursos utilizados, o sistema Porticado é avaliado por outros autores (Benoit & Paradis, 2008, pp. 22,23) como sendo pouco competitivo, quando utilizado em soluções de habitação. Esta avaliação refere-se a uma suposta duplicação da função estrutural dos pilares em relação às paredes exteriores e interiores (que poderiam ser portantes). Por esse motivo é entendido como sendo mais adequado para edifícios de grandes dimensões. Wing (2009) refere também que a popularidade do sistema (que tem vindo a aumentar) é devida mais a

<sup>209</sup> Tal como para a construção de uma habitação no sistema de reticulados leves.

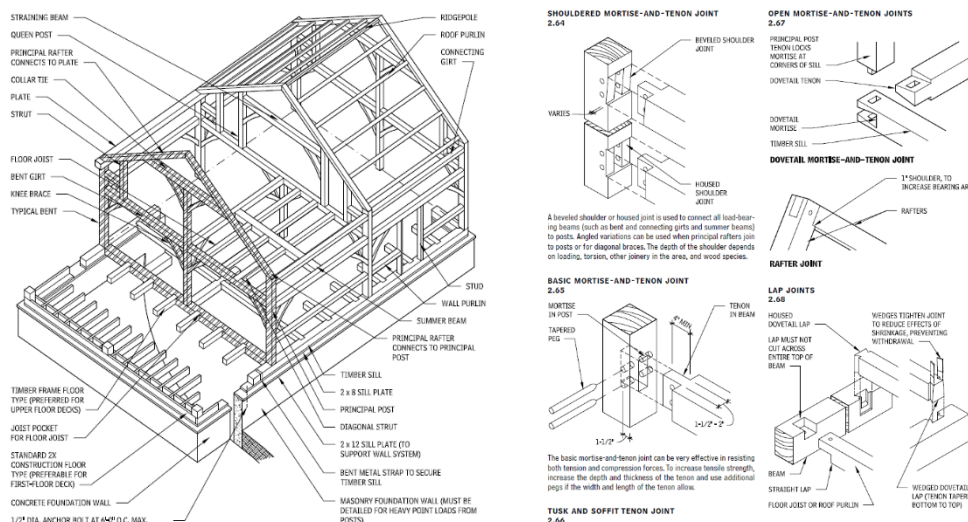


Fig. 239 - Sistema porticado do tipo "timber-frame" e respectivas ligações de encaixe (American Institute of Architects, 2008).

motivos de ordem estética do que a razões de economia, afirmando que mesmo os proponentes do sistema o reconhecem:

*"The appeal of timber frame lies in its material and craftsmanship, as well as in nostalgia" (Wing, 2009).*

Também Allen e Iano (2002, p. 157) consideram que a construção em madeira com elementos estruturais à vista não é uma escolha automática na construção em madeira, nem económica para a maior parte das soluções estruturais. Sublinham no entanto, na linha de Wing, que uma justificação importante para o seu uso é precisamente o atractivo especial que é conferido pelas qualidades sensoriais da madeira à vista.

Para além do argumento estético, a utilização de porticados justifica-se também sempre que seja necessário retirar partido do seu potencial de abertura espacial ou possam ser utilizados com vantagem os recursos florestais locais ou ainda nos casos em que haja regulamentos ou leis específicas proporcionando incentivos à utilização de madeira maciça.

### 3.2.1.2 GRELHA ESTRUTURAL - PORTICADOS

A escolha da grelha estrutural que define a localização dos pilares vai depender em primeira análise das condicionantes espaciais e funcionais estabelecidas, sendo uma decisão que dita as condicionantes para muitas das opções posteriores. Embora uma grelha estrutural maior comporte em princípio um consumo superior de madeira, esta pode ser menos dispendiosa porque quando se reduz o número de ligações e juntas entre componentes, reduz-se significativamente o custo final da solução (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 81) (Kolb, 2008). Os factores a ter em consideração na definição da grelha estrutural são: a dimensão do edifício, a definição espacial da compartimentação interior, a definição formal da fachada (no que respeita aos vãos e revestimentos), e os critérios de economia pré-estabelecidos (Kolb, 2008, p. 89).

No método Segal (cf. Figura 240), que conjuga porticados com reticulados leves de preenchimento, a grelha geométrica por um lado define a posição dos pilares e por outro define também os montantes dos painéis não estruturais. Este método pressupõe duas variantes da grelha: a grelha "tartan" e a grelha "centreline". A grelha "tartan" pressupõe que ao valor inteiro dos painéis (por exemplo 600mm) se adiciona a dimensão dos montantes (50mm por exemplo). A grelha "centreline", define o posicionamento dos montantes na intersecção das linhas de grelha (Borer & Harris, 2001).

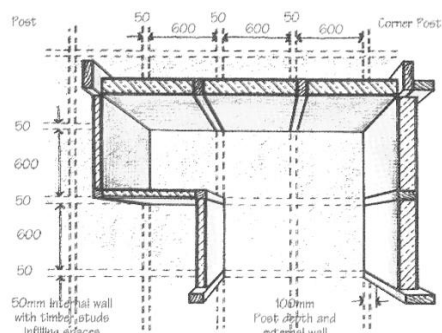


Fig. 240 - Grelha do tipo "Tartan" no método Segal (Borer & Harris, 2001).

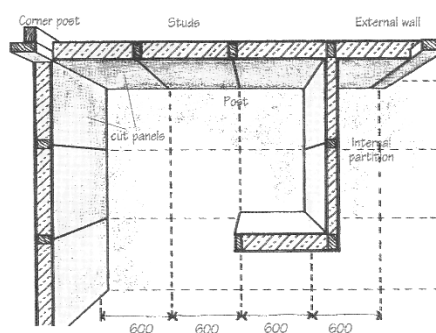


Fig. 241 - Grelha do tipo Centreline no método Segal (Borer & Harris, 2001).

No primeiro caso, os montantes e os elementos estruturais são deixados à vista pelo exterior ou são cobertos com mata juntas e no segundo caso, que é o mais utilizado, os montantes e em certos casos os pilares podem ficar integrados nos painéis. As vantagens do primeiro processo relacionam-se com um maior potencial de aproveitamento dos painéis em caso de reutilização mas apresentam em geral alguns aspectos negativos: pontes térmicas acrescidas, aumento do número de juntas construtivas, e necessidade de maior número de peças de remate.

As dimensões óptimas da grelha estrutural para estruturas porticadas devem basear-se segundo Kolb (Kolb, 2008) num módulo de 625mm devido à sua compatibilidade com as soluções habituais de espaçamento de vigas de pavimento e de painéis de revestimento, bem como de acabamento. Segundo este autor, alguns exemplos dessas grelhas optimizadas são os seguintes: 1250x1250mm, 2500x2500mm, 5000x5000mm, 6250x6250mm, 7500x7500mm. No entanto para soluções específicas de habitação são indicados como mais económicos os vãos entre 4,00 metros a 6,00 metros (Kolb, 2008, p. 91).

No "Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5" (TRADA, 2008) refere-se que com madeira maciça, por razões económicas, se devem limitar os vãos a dimensões entre os 4,00 metros e os 5,00 metros, sendo recomendável utilizar I-Joists, LVL ou Glulam para vãos maiores. Segundo Bignon (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 81) a grelha geométrica óptima varia entre os 3,00 metros e os 4,80 metros, considerando uma trama de 3,60 metros geralmente como a mais económica e recomendando para além dos 5 metros a opção por derivados de madeira como o Glulam ou outras soluções alternativas. Para Rob Roy (2004, p. 8) os porticados tal como são praticados tradicionalmente na América do Norte contemplam vãos que variam entre 2,80 metros e 3,00 metros. Consoante a grelha estrutural escolhida uma série de outros aspectos da estrutura serão afectados, como a dimensão das vigas principais, a solução dos pavimentos e o próprio processo de construção<sup>210</sup>.

Mesmo na América do Norte, ao contrário do que acontece com o sistema de reticulados leves, não existem regras prescritivas regulamentares que permitam dentro prescrever soluções já testadas de porticados, sem necessidade de cálculo estrutural. Para as estruturas de madeira em geral, o Engenheiro tem a responsabilidade de assegurar que a construção satisfaz os regulamentos em vigor, relacionando as exigências estruturais com a segurança

<sup>210</sup> Nas estruturas de pilar e viga para armazéns ou zonas comerciais, é corrente definirem-se grelhas estruturais maiores como por exemplo as de 10x15m (30'x15') (Canadian Wood Council, 1997). Os sistemas de grandes vãos (*clear span roof systems*), normalmente não utilizados em habitação, recorrem aos componentes Glulam, utilizando vigas inclinadas ou em arco, normalmente divididas em dois componentes de viga ligados na cumeeira. As asnas de madeira serrada, Glulam ou de derivados estruturais de madeira como o LVL, o LSL, o PSL (*SCL structural composite lumber*), podem alcançar vãos de 50 metros e normalmente são compostas de diversos elementos ligados com ligadores metálicos e parafusos ou rebites Glulam (Canadian Wood Council, 1997).

contra incêndio e com a durabilidade. A durabilidade embora esteja relacionada com a definição das estruturas está dependente em grande parte da pormenorização arquitectónica dos detalhes construtivos. O Engenheiro deverá ter ainda a preocupação de verificar a compatibilidade das escolhas arquitectónicas que são interdependentes da estrutura como é o caso das paredes da envolvente construída (TRADA; IStructE, 2007), dos revestimentos interiores e exteriores e dos vãos envidraçados.

### 3.2.1.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS - PORTICADOS

Para uma dada espécie e classe de viga de madeira, a secção a adoptar num projecto dependerá da dimensão do vão, do espaço entre pilares, das cargas consideradas e da resistência à flexão da espécie utilizada (Canadian Wood Council, 2015a). O valor máximo das cargas nas estruturas porticadas é normalmente determinado pelas tensões admissíveis das vigas e menos pelos limites admissíveis em compressão dos pilares.

Conforme Bignon e Critt-Crai (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 82) para uma sobrecarga corrente de pavimento de 1,5 kN/m<sup>2</sup> e uma altura média de pilar de 2,50m admitem-se em geral as seguintes regras para pré-dimensionamento de pilares e vigas de madeira: as vigas terão uma altura  $H$  igual a 1/15 do seu comprimento  $L$  ( $H=1/15L$ ) e uma largura  $I$  igual a 1/2 da altura  $H$  ( $I=1/2H$ )<sup>211</sup>. Os pilares terão normalmente as seguintes secções para habitação: 100x100mm para habitações de rés-de-chão; 120x120mm (ou 2x75x120mm) para habitações de rés-de-chão mais um piso; 140mmx140mm (ou dois pilares de 75x140mm) para habitações de rés-de-chão mais dois pisos; e 160x160mm (ou dois pilares de 100x140mm) para habitações de rés-de-chão mais três pisos. Se a estrutura for exposta, sem protecção ao fogo, segundo os mesmos autores, a secção mínima deverá ter 75x140mm.

Os pilares normalmente não oferecem problemas de dimensionamento porque a madeira tem um bom comportamento quando sujeita aos esforços paralelos às fibras. Não é comum portanto o esmagamento das fibras por excesso de carga, mas deve-se ter atenção ao coeficiente de esbelteza do pilar, para o qual Ching indica uma regra de pré-dimensionamento segundo a qual para pilares maciços (ou compostos com menores secções) de madeira livres, a altura livre do pilar dividida pela menor dimensão da secção não deve ser superior a 50. Para pilares duplos compostos constituídos por elementos de madeira ligeira esse valor relativamente a cada um dos elementos será 80 (Ching, 2008, p. 5.47).

Na concepção dos pilares as preocupações centram-se não só no comprimento crítico de encurvadura mas também nos detalhes das ligações onde se manifestam esforços perpendiculares às fibras. Nas estruturas porticadas os limites e as principais questões dimensionais manifestam-se na definição das secções das vigas primárias e das vigas secundárias de pavimento (Kolb, 2008). A resistência à flexão considerada para as vigas dependerá não só da utilização do edifício mas também da aparência desejada dos componentes e revestimentos. Segundo o National Building Code (NBC) do Canadá, por exemplo, estabelece-se que se a viga a dimensionar suportar componentes com materiais que sejam facilmente fendilháveis como o gesso ou os rebocos, o valor da sua flexão deve ser limitado de modo a garantir a manutenção da integridade desses materiais (Canadian Wood Council, 2015a).

<sup>211</sup> Ching (Ching, 2008, p. 4.35) considera uma largura  $I$  entre 1/2 e 1/3 da altura.

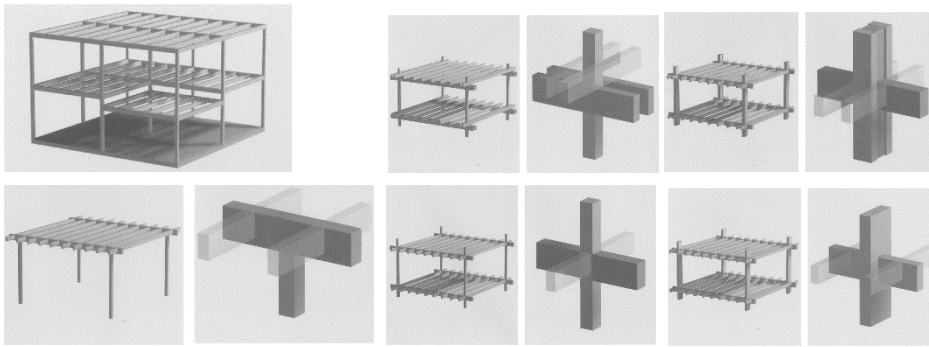


Fig. 242 - Alternativas de ligação dos pilares com as vigas (Kolb, 2008) .

Depois de definidas a grelha estrutural e as secções para a estrutura, deve-se definir o modo de ligação entre pilares e vigas. Kolb (2008, p. 93) indica cinco formas principais de ligação: 1) Pilares com vigas duplas; 2) Vigas com pilares duplos; 3) Vigas sobre pilares simples; 4) Vigas com pilares contínuos; e 5) Pilares com entalhe central (cf. Figura 242). A fragmentação de componentes de vigas ou pilares, duplicando-os, conduz necessariamente a uma estrutura mais ligeira, tornando as soluções mais simples e económicas. Do ponto de vista estrutural as soluções de duplicação podem melhorar o comportamento do elemento contínuo (viga ou pilar) aumentando a sua resistência crítica à flexão (vigas) e ao encurvamento (pilares). A fragmentação dos pilares em dois componentes no entanto fragiliza a estrutura do ponto de vista da segurança ao fogo, podendo exigir também, por razões estruturais, elementos de preenchimento e ligação entre os componentes duplicados. (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 81).

A solução mais simples será aquela em que as vigas assentam sobre os pilares, sendo essa a escolha mais óbvia para as estruturas de um só piso. Mas em construções de mais que um piso a solução de pilares contínuos tem a vantagem de permitir com maior facilidade que as vigas estejam todas ao mesmo nível através da adopção de ligações de topo das vigas com o pilar, sendo uma escolha adequada para situações em que a envolvente construída se posiciona no exterior da estrutura. A solução do pilar com entalhe só se justifica e só será exequível quando existirem pilares de grandes secções.

Existem diversos tipos de ligadores aplicáveis à construção porticada: as ligações tradicionais de encaixe, os parafusos, as placas e anéis de pregagem, os anéis, as juntas coladas e os ligadores tridimensionais de variadas formas e aplicações. Os factores mais importantes na concepção das juntas, para além da opção estética, são a capacidade de carga, a rigidez, a ductilidade e a resistência ao fogo (Materna & Lokaj, 2008). Existe uma relação de interdependência entre os componentes de madeira e os ligadores, devendo os primeiros ter dimensões que permitam acomodar os segundos (TRADA; IStructE, 2007).

As ligações entre pilares e vigas são, nas soluções contemporâneas, normalmente executadas com ligadores metálicos. Os processos tradicionais de ligações por encaixes de madeira são cada vez menos utilizados não só pela dificuldade de execução, mas também pelo enfraquecimento que conferem aos componentes obrigando ao sobredimensionamento das suas secções. A grande sensibilidade destas ligações à água e à humidade tornam-nas muito frágeis quando utilizadas no exterior (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 83). As ligações por ligadores metálicos têm inúmeras vantagens, não exigindo em geral a redução das secções dos componentes de madeira, estando disponíveis no mercado as variedades para as soluções mais usuais, podendo a carga de ruptura destas ligações ser calculada através das informações fornecidas pelos fabricantes.

As ligações por aparafusamento, mais simples, são utilizadas especialmente nas situações em que há duplicação de componentes de pilar ou de viga. Este tipo de ligadores, por serem vulneráveis ao fogo, exigem normalmente uma protecção através da própria madeira ou através de pinturas intumescentes (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 84).

Nos porticados tradicionais a ligação dos pilares às fundações fazia-se através de uma viga de soleira que assentava e era ancorada nas fundações. Actualmente a ligação mais frequente consiste na ancoragem dos pilares às fundações através de um ligador metálico. Neste caso, são críticas as migrações de humidade do pavimento para o pilar pelo que se deve impedir o contacto entre a madeira e a alvenaria ou o betão. Em situações de exposição dos pilares aos elementos do clima no exterior, deve-se preservar uma distância de pelo menos 10 cm entre o pavimento e a base dos pilares. Deve ser também considerado um detalhe da ligação entre o pilar e o ligador que evite a retenção de água (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 88), proporcionando o seu escoamento e uma secagem rápidas.

Apesar de ser possível definirem-se porticados com ligações rígidas, tal solução requer muitos ligadores e é dispendiosa (TRADA; IStructE, 2007). Nas situações mais comuns, a construção pilar-viga requer componentes adicionais para a resistência aos esforços horizontais. Estes elementos de travamento podem ser montados no plano vertical como acontece quando se recorre a paredes entre pilares ou no plano horizontal como ocorre no caso dos painéis estruturais sobre vigas de pavimento. No caso de travamento diagonal com tirantes de aço ou elementos de madeira, este pode ser instalado entre os pilares em intervalos regulares. Em alternativa o travamento pode ser realizado com escoras (*knee braces*) entre pilares e vigas, especialmente quando não são desejáveis elementos que obstruam todo o vão estrutural. O travamento pode também ser efectuado com painéis de reticulados leves ancorados às fundações. É importante que os componentes da cobertura, as vigas e os pilares estejam ligados em conjunto para fazer face ao efeito de sucção na cobertura devido à acção do vento. A ancoragem dos pilares às fundações é particularmente importante nos pontos em que se localiza a ligação do pilar com o elemento diagonal (de travamento) porque sob o efeito da acção do vento este tem tendência a deslocar a base dos pilares no sentido da cobertura (Canadian Wood Council, 1997). Como critério económico de princípio deve evitar-se a concepção de ligadores com formas singulares e específicas porque o seu custo pode em certas condições ser superior ao dos componentes de madeira:

*“Choosing an efficient and economical connection method can be the key to a successful project.” (TRADA; IStructE, 2007).*

#### **“Heavy Timber” no Canadá**

O National Building Code of Canada (NBCC) define o sistema HTC (*Heavy Timber Construction*) como um sistema combustível, mas com um grau de segurança contra incêndio obtido pelas limitações dimensionais da secção mínima dos componentes estruturais, pela limitação das espessuras da composição dos pavimentos de madeira e coberturas e pela ausência de espaços vazios nos pavimentos e coberturas (Canadian Wood Council, 1997).

A construção HTC identifica-se normalmente com o grupo dos sistemas porticados (*post & beam*) embora nem todos os sistemas porticados tenham secções que correspondam à segurança de 45 minutos ao fogo que permite a classificação como HTC. A resistência ao fogo na HTC é dada pela camada carbonizada isolante que se forma à superfície dos componentes de madeira sob a acção do fogo. Estes admitem assim a sua combustão durante um determinado tempo antes de atingir o momento crítico da redução da capacidade de resistência anterior ao colapso. (Canadian Wood Council, 1997).

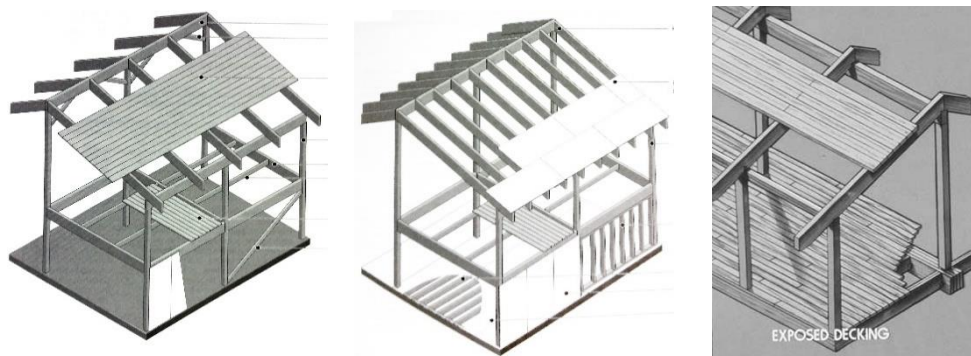


Fig. 243 - Sistemas de porticados "Heavy Timber Construction": "post & beam", "post & beam" combinado com o sistema de reticulados leves (Canadian Wood Council, 1997) e "post & beam" com revestimentos estruturais (Canadian Wood Council, 2015).

Na perspectiva Canadiana o sistema de porticados distingue-se do sistema de reticulados leves pelo afastamento entre elementos verticais ser superior ao limite de 600mm, que é utilizado normalmente no segundo. Ao contrário dos reticulados leves que dentro de certos limites podem ser considerados sistemas cuja concepção obedece a regras prescritivas, no sistema porticado exige-se um projecto de estruturas com a intervenção e o "selo" de um Engenheiro licenciado (segundo a "Part 4 do NBCC"). No entanto, em edifícios residenciais as vigas de pavimento (ou secundárias) podem ser dimensionadas recorrendo a tabelas existentes nos regulamentos (tabelas na "Part 9 do NBCC") que podem também ser utilizadas para outros componentes reticulados desde que as exigências das cargas consideradas sejam cumpridas (Canadian Wood Council, 1997). Na Europa, também são disponibilizadas tabelas de suporte à concepção inicial de componentes de madeira para edifícios de habitação. No Reino Unido a TRADA (The Timber Research and Development Association) e a GLTA (Glued Laminated Timber Association) fornecem tabelas para madeira maciça e para componentes Glulam respectivamente. Os próprios fabricantes destes produtos (incluindo as vigas LVL e as vigas I-Joist) fornecem normalmente tabelas de referência (TRADA; IStructE, 2007).

As dimensões mínimas para componentes de madeira de HTC são estabelecidas no NBCC:

- 1) Para componentes que suportem apenas uma cobertura as secções mínimas são 140x191mm em madeira serrada e 130x190mm em Glulam para pilares; 89x140mm em madeira serrada e 80x152mm em Glulam para vigas primárias e vigas secundárias de pavimento e cobertura;
- 2) Para componentes que suportem pavimentos ou pavimentos e coberturas as secções mínimas são 191x191mm (8"x8") em madeira serrada e 175x190mm em Glulam para pilares, e 140x241mm (6"x19") em madeira serrada e 130x228mm em Glulam ou 191x191mm (8"x8") em madeira serrada e 175x190mm em Glulam para vigas secundárias de pavimentos e asnas. Nos casos em que os regulamentos não exigem uma construção residencial com segurança contra incêndio, estas secções mínimas não são evidentemente exigidas (Canadian Wood Council, 1997) podendo optar-se por uma construção pilar-viga não HTC. O NBCC estipula ainda que os pilares de madeira devem ser contínuos ou sobrepostos nos sucessivos pisos.

Quando se utilizam *decks* estruturais de pavimento (utilizados normalmente na HTC), estes devem ter uma espessura de 64mm, um perfil macho-fêmea e um acabamento de 12,5mm de espessura disposto na perpendicular ao *deck*, ou em alternativa elementos com secções de 38x89mm (2"x4") laminados (pregados) na vertical. Para a cobertura, os *decks* devem ter 38mm de espessura com ligações macho-fêmea, ou secções de 38x64mm laminadas na



vertical (Canadian Wood Council, 1997). Para além da madeira serrada e dos lamelados colados Glulam, é frequente utilizar-se o PSL (Canadian Wood Council, 1997).

A cobertura e os pavimentos na construção porticada, nos casos em que não se opta por uma estrutura ligeira (equivalente à dos sistemas reticulados leves) pode ser composta com grandes secções de madeira e com revestimento estrutural em *deck* exposto (um dispositivo com potencial interesse na expressão arquitectónica). O revestimento estrutural em *deck* pode ser realizado com componentes maciços de encaixe macho-fêmea assentes na face maior ou com componentes de madeira ligeira assentes ao cutelo e ligados (pregados) entre si. Esta última solução utiliza-se quando as cargas previstas são superiores ao normal (Canadian Wood Council, 2015a). Nos edifícios mais antigos utilizavam-se decks com componentes de 2"x4" laminadas com pregagem (Canadian Wood Council, 1997).

O *deck* estrutural é normalmente composto por elementos de 38mm, 64mm e 89mm de espessura, e comprimentos de 1,83m a 6,10m com entalhes para ligação macho fêmea, disponíveis também com faces estriadas e arestas boleadas e em duas diferentes classes de resistência e qualidade visual (classes "*select*" e "*comercial*"). Os *decks* alternativos com elementos de madeira estrutural ligeira (*dimension lumber*) pregada são geralmente apresentados em secções de 38mm no topo e com alturas entre 64mm a 286mm. Os componentes de *deck* são instalados com as juntas de topo dispostas aleatoriamente abrangendo geralmente três ou mais vãos estruturais (embora também seja possível a instalação de modo uniforme e vão-a-vão). Em pavimentos, o acabamento é colocado em geral sobre o *deck* disposto na direcção perpendicular a este (Canadian Wood Council, 2015a). Deve haver a preocupação de garantir que o *deck* esteja seco (com um conteúdo de humidade entre 15% e 19%) durante a montagem para que as juntas dos encaixes não fiquem soltas depois da secagem em serviço (Canadian Wood Council, 1997).

A estrutura dos pavimentos é constituída por vigas secundárias (*purlins*) que, ou assentam no topo das vigas principais ou são ligadas a estas alinhadas pelas faces superiores mediante ligadores de suspensão. O segundo caso é o mais corrente, uma vez que a espessura do pavimento se limita assim à altura das vigas principais, permitindo reduzir a altura da construção final (Canadian Wood Council, 1997). Quando for necessário abrir um vazio no pavimento este deve ser efectuado com a instalação de vigas perimetrais ligadas às principais, através de ligadores de suspensão. Quanto à compartimentação interior, se esta for portante, deve ser instalada sempre sobre vigas, ou sobre reforços suplementares. No caso de paredes não estruturais perpendiculares ao *deck*, em princípio (sujeito a cálculo) estas poderão assentar simplesmente sobre ele. No caso de paredes não estruturais paralelas ao *deck*, deve também haver uma viga sob ou sobre este a suportá-las (Canadian Wood Council, 2015a). As consequências da flexão das vigas deve ser tida em conta em relação aos elementos que são colocados sob elas, particularmente quando se incluem vãos de janelas ou portas com elementos de vidro. As juntas entre componentes devem contemplar a possibilidade de movimento devendo ao mesmo tempo ser estanques (Canadian Wood Council, 2015a).

O sistema pilar-viga nem sempre é apresentado no estado puro. A sua combinação com os reticulados convencionais pode ser efectuada das seguintes maneiras, dependendo das exigências contra incêndio (Canadian Wood Council, 1997): 1) Estrutura de pilar-viga com solução de cobertura leve como nos reticulados e revestimento com painéis estruturais (por exemplo de OSB); 2) Estrutura de pilar-viga, mas com vigas secundárias de pavimento e de cobertura ligeiras (*joists and rafters*) com revestimento de painéis estruturais utilizados em vez

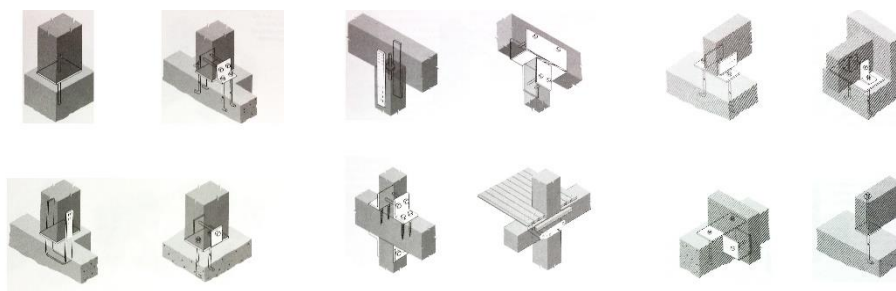


Fig. 244 - Tipos de ligações entre pilares, vigas, lajes e paredes (Canadian Wood Council, 1997).

do deck; 3) Paredes portantes de reticulados utilizadas em vez de pilares. As vantagens da combinação do sistema de pilar-viga com os pavimentos e as paredes de reticulados leves consistem na facilidade de integração das infraestruturas e do isolamento térmico (Canadian Wood Council, 1997).

As ligações<sup>212</sup> devem ser concebidas recorrendo a cálculo estrutural (devendo resistir a esforços de sucção e esforços horizontais) e devem ser detalhadas de modo a evitar a fractura da madeira (*splitting*) que acontece quando os ligadores oferecem resistência à sua retracção. Esta situação pode ocorrer quando numa determinada ligação se se instalam grandes linhas de aparafusamento na perpendicular ao veio da madeira (Canadian Wood Council, 1997). Quando se usam filas de parafusos múltiplas paralelas ao grão, devem ser utilizadas placas ligadoras independentes sempre que a distância entre linhas seja superior a 125mm porque se for usada só uma placa, é grande o risco de fractura do componente de madeira. Com ligadores de suspensão (ou do tipo “sapato”), os parafusos devem-se colocar preferencialmente na base da vigota suspensa e não no topo porque a retracção da madeira tem tendência a pendurar a vigota que desse modo pode fracturar. Também nas ligações entre viga e pilar com placas laterais aparafusadas à viga, os parafusos devem ser instalados mais próximo da base (Canadian Wood Council, 1997). As ligações entre vigas de madeira e paredes de betão ou de alvenaria devem ser realizadas com placas que evitem a migração de humidade sendo também de prever uma junta livre entre a madeira e a parede.

A concepção dos sistemas porticados com componentes de madeira maciça deve contemplar o comportamento higrométrico da madeira uma vez que estes são normalmente fornecidos em verde e retraem em serviço, podendo este fenómeno ser considerável com secções de grandes dimensões. Mesmo os componentes *Glulam* que são fornecidos com uma humidade abaixo dos 15% podem retrair um pouco devidos às flutuações de humidade<sup>213</sup>. A elaboração dos detalhes deve contemplar estas alterações dimensionais no sentido de eliminar os vários problemas que podem surgir: fendas e separações nas ligações, pavimentos inclinados, distorções da cobertura ou dos revestimentos estruturais e danos nos acabamentos. (Canadian Wood Council, 1997).

<sup>212</sup> A utilização de ligadores metálicos entre pilares e vigas contemplam várias modalidades com parafusos, placas, anéis e por vezes em combinação com placas laterais em madeira ou metal. Requerem-se alguns cuidados na sua utilização como por exemplo a galvanização destes ligadores quando em condições de humidade adversas. Deve-se prever também a utilização de anilhas (*wahers*) sempre que não há uma placa entre a madeira e os parafusos e porcas. As furações dos parafusos devem ser sempre 1 mm ou 2 mm maiores que o diâmetro do parafuso para evitar esforços e fracturas causadas pela contracção da madeira. Os parafusos não devem ser apertados ao ponto de contrair a madeira devendo verificar-se os apertos após um ano de serviço devido às variações dimensionais que esta sofre. Os anéis, conectores com disco e as placas são ligadores de elevada resistência distribuindo as forças laterais por uma área maior do que os parafusos (Canadian Wood Council, 1997).

<sup>213</sup> A madeira contrai com uma humidade abaixo dos 30% e a alteração dimensional da madeira na perpendicular às fibras pode ter um valor de até 6% da dimensão original depois de colocada num ambiente climatizado e aquecido. Por exemplo, um componente de 286mm pode retrair 17mm depois de uma secagem de 30% para 12% em teor de humidade (Canadian Wood Council, 1997).

A previsão da retracção dos elementos estruturais em pavimentos e coberturas deve ser tida em conta em toda a área destes elementos. Por exemplo nos extremos opostos de cada viga de pavimento ou viga principal devem ser instalados suportes que retraiam de forma equivalente porque de outro modo, os pavimentos correm o risco de ficar inclinados após as retracções diferenciais dos respectivos apoios. Quando as vigas estão suportadas num topo por uma parede de betão e no topo oposto por uma outra viga de madeira maciça ocorre uma retracção num dos extremos que não é acompanhada pelo oposto. Neste caso pode-se prever uma base de transição de madeira no apoio da parede de betão em madeira com uma retracção similar à da viga da outra extremidade. Outra possibilidade consiste na instalação da viga na extremidade da ligação madeira-madeira a uma cota ligeiramente mais elevada que a cota da outra extremidade da ligação madeira-betão (Canadian Wood Council, 1997). Também no caso das vigas de pavimento de menor secção que são ligadas às vigas primárias de maior secção (por ligadores de suspensão) devem ter-se alguns cuidados para evitar o empeno dos revestimentos. Podem-se por exemplo instalar as vigas de pavimento com as faces superiores a uma cota ligeiramente mais alta que a face superior da viga primária. (Canadian Wood Council, 1997).

#### **“Timber Frame” Tradicional nos EUA**

*“A timber frame home is built to unusually high standards and costs more time and usually more money, too” (Benson, 1977, p. 22).*

Ted Benson (1977) baseado na sua experiência de concepção e construção de porticados tradicionais do tipo “timber frame” na América do Norte considera que uma casa construída com esse sistema (cf. Figuras 245 e 246) necessita de um maior tempo de construção que uma casa em reticulados leves. Os porticados exigem um trabalho mais especializado, principalmente se as ligações forem realizadas no modo tradicional, havendo poucos profissionais com as competências adequadas para o efeito. Por outro lado, uma vez que o sistema “timber frame” tira partido da qualidade visual dos componentes de madeira de grandes dimensões, há uma grande exigência dos clientes com a qualidade da matéria-prima o que muitas vezes exige mais tempo para a escolha e para o fornecimento.

A execução profissional dos porticados “timber frame” pode revelar-se muito cara devido ao custo do trabalho de carpintaria especializada e dos materiais de madeira maciça que para além da já referida qualidade visual, devem ter acima de tudo uma boa qualidade estrutural (Roy, 2004, pp. 13, 14). O preço dos porticados pode ser até 20% superior ao dos reticulados leves, embora em situações muito simples, como uma casa de dois pisos de planta quadrada, segundo a empresa San Juan Timber Frames (2015a), o preço final dos porticados possa ser inferior. Segundo a empresa Canadiana Tree Top Timber Frames, uma casa com o sistema de porticados “timber-frame” custa entre 20% e 30% mais do que uma casa com o sistema reticulado. A justificação para este acréscimo é dada, segundo a empresa pela qualidade superior dos materiais, pelas ligações tradicionais, pela qualidade superior da envolvente e pela maior exigência na concepção e na intervenção da Engenharia (Tree Top Timber Frames, 2015). A mesma empresa refere ainda que o custo de uma casa “timber frame” é aproximadamente metade do custo de uma casa de toros.

A estrutura de uma habitação unifamiliar com um sistema porticado “timber frame” tradicional, na América do Norte, pode ser montada num dia, após os componentes terem sido fabricados e testados na carpintaria. Normalmente, a nível empresarial, o conjunto da estrutura e do revestimento exterior é montado entre uma semana e meia a três semanas permitindo que o



Fig. 245 - Montagem de uma habitação "Timber-frame" (Riverbend Timber Framing, 2015).

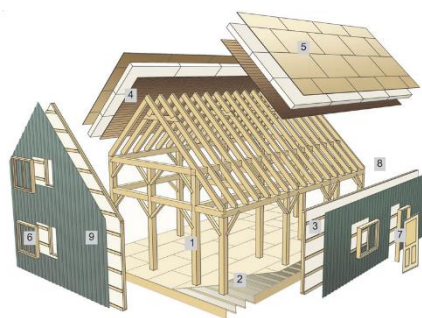


Fig. 246 - Axonometria explodida do sistema "Timber-frame" (Normerica, 2015).

trabalho prossegua depois nos espaços interiores mesmo com clima adverso (San Juan Timber Frames, 2015).

As estruturas expostas são o grande atractivo deste sistema e normalmente surgem sobredimensionadas. A empresa San Juan Timber Frames por exemplo recorre a pilares de Abeto Douglas normalmente de 7,5"x7,5" que ficam completamente expostos pelo interior (San Juan Timber Frames, 2015). Como já foi referido as estruturas de grandes secções estão inevitavelmente sujeita aos efeitos da retracção (e do inchamento) porque é muito difícil obter uma secagem completa dos componentes de grande secção (com dimensões superiores a 4"). As fendas superficiais, que ocorrem frequentemente nos pilares e nas vigas, normalmente não têm consequências negativas na capacidade resistente e devem ser aceites por parte dos actores envolvidos no processo como uma característica intrínseca do sistema (Benson, 1977, p. 22).

O sistema tradicional porticado tipo "*timber frame*" na América do Norte teve de enfrentar os desafios colocados pelas exigências da vida contemporânea, grande parte deles relacionados com as requisitos regulamentares, obrigando o antigo sistema a algumas adaptações. O desafio do isolamento térmico obteve uma boa resposta inicial através da prática de utilização dos painéis de reticulados leves isolados como elemento da envolvente e de compartimentação. Numa fase seguinte a adopção dos painéis SIP<sup>214</sup> como soluções de revestimento completo da estrutura tornou-se uma prática corrente devido à sua eficácia do ponto de vista das exigências térmicas e devido ao processo racional de montagem (Benson, 1977, p. 21).

Por vezes adopta-se também um processo híbrido que consiste em utilizar porticados nas zonas mais representativas e soluções de reticulados leves estruturais em zonas onde a aparência da madeira não é necessária. Esta prática cujo objectivo consiste em reduzir custos, segundo a experiência de algumas empresas, acaba por implicar por vezes mais custos e um maior tempo de construção do que uma solução integral em porticados tradicionais "*timber frame*" (San Juan Timber Frames, 2015a). A convivência de dois sistemas pode exigir diferentes equipas, diferentes fornecedores e diferentes processos, ao que se adiciona a necessidade de ligação e compatibilidade (de comportamento) entre os componentes e elementos dos dois sistemas.

#### Porticados "Green Oak" no Reino Unido

No Reino Unido, a partir da década de 1970, aumentou o interesse pelas construções porticadas com madeira de Carvalho recorrendo a detalhes de construção tradicionais (cf.

<sup>214</sup> Normalmente a construção com SIPs por ser muito estanque deve ser pensada com sistemas mecânicos de ventilação (INSULPAN, 2015).

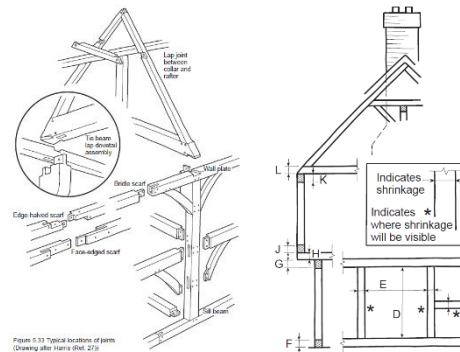


Fig. 247 - Estrutura de porticado "Green-Oak", juntas típicas e efeitos do assentamento da madeira (Roos, Metten, & Holloway, 2007).

Figura 247). Embora o Carvalho seja uma madeira mais rara e mais cara que as madeiras resinosas em geral, o seu uso justifica-se não só pela singularidade arquitectónica e interesse estético, mas também pela sua durabilidade que permite que a madeira seja utilizada no exterior. Por outro lado, como não há energia despendida na secagem e não são necessários tratamentos químicos, este tipo de construção tem prestações vantajosas em termos de energia incorporada e de emissões de carbono. A utilização da madeira de Carvalho em verde justifica-se pela dificuldade que há na sua secagem e pelos problemas associados à sua transformação quando seca. Por outro lado o Carvalho seco tem muita tendência a fender dificultando a execução dos cortes e em especial das juntas (Roos, Metten, & Holloway, 2007).

Os pilares e as vigas deste sistema têm entre 100mm e 200mm de espessura, e a sua secagem (humidade entre 10 a 12%) quando expostos a um ambiente interior é um processo lento que pode durar entre 6 a 8 anos. Num edifício de dois pisos, o assentamento devido a secagem pode corresponder a um total de cerca de 50mm. Estes assentamentos levam a que a solução tradicional de instalar a envolvente entre os componentes estruturais é a opção menos satisfatória do ponto de vista do isolamento térmico e da estanquidade.

#### "Heavy Timber" nos EUA

Os sistemas classificados como "*Heavy timber*" nos EUA, caracterizam-se pela resistência ao fogo estabelecida através da definição de limites mínimos para as dimensões dos componentes estruturais. Adicionalmente e tal como no Canadá a composição dos componentes de pavimento e de cobertura não devem ter espaços vazios no seu interior. Os regulamentos (baseados no IBC) prescrevem o uso de ligadores, adesivos e "detalhes aprovados" (cf. Figura 248), bem como a concepção de paredes exteriores e interiores resistentes ao fogo. As paredes portantes exteriores devem ter uma resistência ao fogo de duas horas e devem ser compostas de materiais não combustíveis. No caso de as paredes não serem portantes é permitido utilizar madeira, devendo esta ser sujeita a um tratamento anti-fogo. As paredes interiores devem ter uma resistência de uma hora e se forem de madeira devem ser construídas com madeira laminada (formando planos maciços) não podendo ter espaços vazios no seu interior como acontece nas divisórias reticuladas (AWC, 2003, p. 1).

Segundo o *International Building Code* (IBC) os pilares de madeira maciça serrada ou de madeira lamelada colada não devem ter secções inferiores a 8" nominais (7-1/4" reais = 184mm) em qualquer dimensão quando suportarem cargas de pavimentos. No caso de suportarem apenas cargas de coberturas e tectos as secções não devem ter menos de 6" nominais (140mm) de largura e 8" nominais (184mm) de profundidade. Quanto aos pilares,



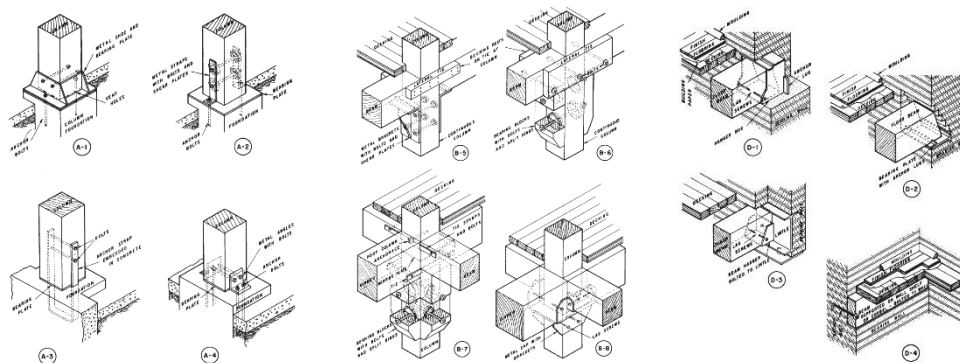


Fig. 248 - "Heavy Timber construction": Ancoragem dos pilares na laje de pavimento, ligações pilar-viga e ancoragem da estrutura do pavimento em paredes de alvenaria (AWC, 2003).

estes devem ser contínuos ou pelo menos sobrepostos ao longo dos pisos. As vigas principais e secundárias de madeira maciça devem ter uma secção mínima de 6" nominais (140mm) de largura e não menos de 10" nominais (235mm) de altura. As treliças de madeira maciça que suportarem pavimentos devem ter componentes com secções não inferiores a 8" nominais (184mm) em qualquer dimensão (AWC, 2003, p. 2). No caso de se utilizarem componentes Glulam, as secções admissíveis serão naturalmente inferiores.

A construção "*Heavy timber*", que será em princípio uma construção mista (mas não necessariamente), deve contemplar detalhes cujo objectivo seja eliminar os problemas devidos à retracção diferencial da madeira, evitando sempre que possível a disposição de elementos com as fibras horizontais nas linhas de suporte das cargas. No passado, para evitar que a retracção das vigas causasse o esmagamento dos pavimentos pelos pilares utilizavam-se elementos metálicos nas ligações entre o topo do pilar inferior e a base do pilar que se lhe sobrepunha para estabelecer uma transição de um piso para outro. Na construção actual utiliza-se preferencialmente um pilar contínuo de madeira laminada ao longo da altura do edifício ligando as vigas de madeira às suas faces através de ligadores metálicos. (Allen & Iano, 2002, p. 145).

Este tipo de construção exige especiais cuidados nas ligações entre as vigas e paredes de alvenaria ou betão. Deve-se prever a protecção das vigas contra a humidade proveniente da parede (através de uma junta de ventilação ou mediante o tratamento da madeira). Exige-se ainda uma ancoragem resistente e um espaço no topo da entrega que permita a rotação da viga em caso de colapso por incêndio, prevenindo assim a destruição da parede de alvenaria. Quanto aos revestimentos estruturais estes devem ser em *deck* com encaixe do tipo macho-fêmea, e devem respeitar as espessuras mínimas definidas (3" de espessuras para pavimentos mais 1" de acabamento, e 2" de espessura para coberturas ou 1 1/8" de contraplacado). Os elementos de madeira do tipo "*Heavy timber*" que sejam utilizados com outros elementos de madeira de secções inferiores ou em que as paredes exteriores sejam combustíveis, enquadram-se para efeitos regulamentares na classe Type V (*Wood Light frame*) e não na Type IV (*Heavy timber*) (Allen & Iano, 2002, p. 149).

#### Método "Segal - Post and Beam" no Reino Unido

O método Segal<sup>215</sup> corresponde a um sistema pilar-viga destinado a construir casas a preços acessíveis baseado num processo de auto-construção e cuja característica principal é a

<sup>215</sup> Walter Segal (1907-1985) Arquitecto formado nos princípios da arquitectura, radicado em Londres, e interessado nos princípios da construção acessível e da auto-construção.



Fig. 249 - Uma habitação auto-construída Segundo o método Segal em Brighton (<http://www.selfbuild-central.co.uk/construction/main-structure/post-and-beam/>).



Fig. 250 - Casa temporária de Walter Segal em Highgate, Londres (<https://hotcharchipotch.wordpress.com/2013/03/31/readapt-the-habitat/>).

simplicidade (cf. Figuras 249 e 250). Actualmente o sistema é promovido e apoiado pelo Walter Segal Self Build Trust.

Os edifícios projectados segundo o método eram originalmente, na sua maioria, definidos com cobertura plana. Deste modo as paredes interiores e exteriores teriam todas as mesmas alturas, beneficiando-se de uma maior uniformidade nos componentes de construção e de uma grande flexibilidade na definição da compartimentação. A altura era definida normalmente pela altura dos painéis normalizados (2400mm). O resultado para além de económico conferia uma estética modernista na qual os pilares e as vigas definiam o carácter da construção. Neste método são comuns os pilares de 50mmx50mm ou 75mmx75mm ou ainda 100mmx100mm e as vigas variam entre 250mm e 225mm de altura e 50mm a 75mm de espessura. Os vãos normalmente são inferiores a 4200mm.

O processo de construção consiste geralmente (embora sejam admitidos outros) em elaborar fundações e sapatas pontuais coincidentes com os pilares (reduzindo assim a necessidade de betão em 20% em relação ao sistema de paredes e painéis portantes), seguidas da montagem de pórticos paralelos que são depois ligados com vigas perpendiculares, seguindo-se a conclusão da estrutura de cobertura e de pavimento que fica elevada do solo. As variantes incluem os métodos *platform* e *balloon* e a adopção de formas diferentes de cobertura. Nas coberturas planas e inclinadas podem ser utilizadas vigas longitudinais conjugadas com vigas de cobertura secundárias ou coberturas inclinadas com vigas de cobertura principais. A envolvente exterior é constituída por painéis de contraplacado ou de compósitos de cimento e fibras de madeira ou ainda por perfis de madeira maciça com isolamento e painéis de gesso cartonado no interior (Borer & Harris, 2001).

#### 3.2.1.4 FUNDAÇÕES - PORTICADOS

Os sistemas porticados podem recorrer a diversos sistemas de fundações agrupados nas seguintes principais categorias: estacas (*piers*), sapatas, paredes de fundação e laje. As estacas de secção circular em madeira tratada eram tradicionalmente utilizadas em zonas de encosta ou em frentes marítimas ou fluviais mas hoje o betão substituiu quase por completo essa prática (Canadian Wood Council, 2015a). Na América do Norte quando se utilizam sapatas, estas são realizadas em betão, normalmente com 12" ou 16" (305mm ou 406mm) de largura e com pelo menos 8" (203mm) de profundidade. As paredes de fundação de alvenaria ou de betão, assentes em sapatas ou numa laje deverão ter pelo menos a espessura dos elementos estruturais e dos revestimentos previstos. As lajes estruturais de betão assentes sobre uma base de gravilha (*slab on grade*) podem ser um dos modos mais económicos de construir as fundações porque uma só betonagem inclui a laje, as sapatas para a estrutura de madeira e a fundação perimetral (cf. Figura 251). Esta solução nos porticados obriga a que nas zonas dos pilares a laje contemple a inclusão de fundações específicas. Tradicionalmente



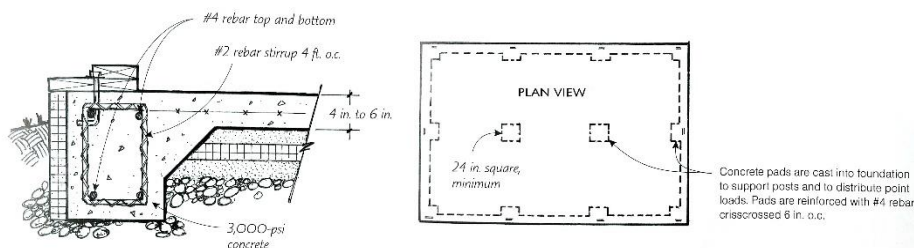


Fig. 251 - Laje sobre o terreno, típica da solução "timber frame" (Benson, 1977).

os pilares assentavam sobre uma viga de base em madeira, mas actualmente a ligação do pilar às fundações de betão faz-se através de ligadores e ancoragens metálicas.

Quando se utilizam soluções que incluem caves, um dos processos correntes consiste em construir paredes de fundação, que nos EUA são tipicamente de 6" ou 8" de espessura, sobre as quais assenta o pavimento composto por vigas do tipo *I-joist* instaladas de modo similar ao dos sistemas de reticulados leves, embora também se recorra a uma laje de betão armado. Não se justifica utilizar vigas de madeira maciça ou Glulam neste pavimento uma vez que a estrutura não desempenha aqui uma função estética. Quando se utilizam painéis reticulados ou de sanduiche do tipo SIP para a envolvente, estes podem ser alinhados pela face exterior da viga de bordadura e pela parede de fundação. Os pilares (tratados) devem ser depois encostados às paredes de fundação ligando-se inferiormente às sapatas. Noutra modalidade, o pavimento (de vigas tipo I Joist) é balançado em consola na dimensão da espessura dos painéis para que a estrutura de pilares assente directamente sobre a parede de fundação (San Juan Timber Frames, 2015). Um sistema alternativo de fundação consiste na utilização do sistema de cofragem isolada perdida *Insulated Concrete Forms* (ICFs) adequado a situações em que se pretendem espaços de cave isolados termicamente. O sistema inclui normalmente blocos de 13" ou 15" de espessura para paredes de 8" a 10" de espessura e o pavimento associado é normalmente concretizado com as mesmas vigas ligeiras I-Joist (San Juan Timber Frames, 2015).

### 3.2.1.5 PAVIMENTOS - PORTICADOS

Tanto o pavimento térreo como os pavimentos suspensos podem ser realizados recorrendo a diversos métodos. Uma alternativa ao já referido pavimento de componentes ligeiros, e mais dentro da lógica dos porticados, consiste em utilizar secções de madeira maiores, geralmente afastadas 4' (122 cm) entre si e ligadas a vigas perimetrais. A estrutura e a envolvente podem assentar directamente sobre o revestimento estrutural do pavimento (em OSB ou contraplacado), sendo as cargas transmitidas directamente dos pilares para as fundações ou através de pilares inferiores em madeira tratada e montados simultaneamente com as fundações.

As soluções de pavimentos elevados para além da opção mais pura de vigas pesadas de madeira maciça ou lamelada, podem também ser concebidos com base em componentes ligeiros de madeira maciça ou de derivados, associando-se a revestimentos estruturais do tipo placas ou do tipo *deck* estrutural com perfis de madeira maciça ou lamelados colados. Os decks estruturais permitem espaçamentos das vigas secundárias entre 1,20m a 2,40m, embora nos casos de cargas concentradas necessitem de reforços adicionais (Ching, 2008, p. 4.38). Os pavimentos elevados devem resistir aos esforços com um mínimo de flexão e com alta rigidez (baixa vibração), respondendo desejavelmente e simultaneamente às exigências de isolamento térmico e acústico e ainda de resistência ao fogo. Um pavimento

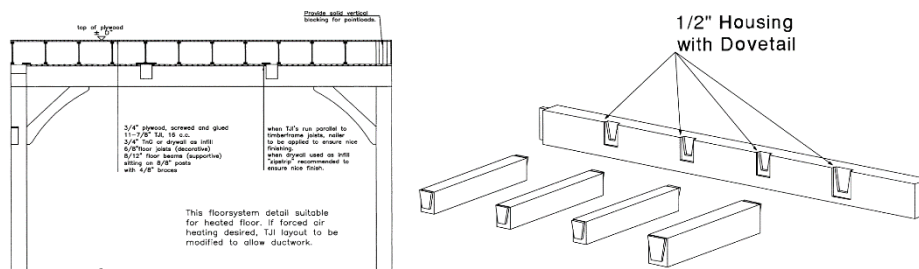


Fig. 252 - Solução para melhoria do comportamento acústico do pavimento e solução de encaixe de vigas secundárias nas vigas principais. (San Juan Timber Frames, 2015).

com isolamento acústico e resistência ao fogo deve integrar para além dos componentes estruturais, um acabamento de desgaste e componentes de tecto. (Kolb, 2008).

Segundo Kolb o uso de secções de madeira maciça em vigas exige maiores profundidades, sendo estas normalmente limitados a alturas entre os 240mm e 280mm. Nas vigas, para um *ratio* entre a largura e a altura da secção maior que 2,5 devem ser aplicados tarugos ou bloqueadores (Kolb, 2008). Normalmente é economicamente vantajoso utilizar sistemas de pavimento com componentes (vigas secundárias, placas, decks) que se distribuam sobre mais que dois apoios devendo a disposição da aplicação ser realizada no sentido do menor vão (Kolb, 2008).

Para uma definição das secções das vigas ao nível do estudo prévio é possível utilizarem-se processos de pré-dimensionamento recorrendo a cálculos elementares utilizando valores obtidos através da experiência de utilização e tabelas de cálculo muitas vezes disponibilizadas pelos fabricantes. Os métodos de pré-dimensionamento em geral têm em conta condições como a classe dos componentes (na Europa normalmente C24 ou GL24 no caso dos lamelados colados) e as cargas uniformemente distribuídas. No entanto, como é evidente será sempre necessário obter a confirmação final com cálculos estruturais na fase de concepção final. Segundo uma das regras de pré-dimensionamento disponíveis (Kolb, 2008) deve considerar-se que perante vigas secundárias espaçadas até 700mm e com cargas uniformemente distribuídas, a altura da secção da viga deverá ser  $1/20$  do vão e a largura deverá ter  $1/2$  do valor obtido. Quando se utilizam elementos normalizados de vigas de pavimento com uma largura da secção de 47mm de classe C16 pode ainda utilizar-se uma outra regra empírica<sup>216</sup> segundo a qual para um espaçamento entre vigas de 400mm a altura da viga em mm deve ser igual a 50 vezes o vão em metros, e no caso de um espaçamento entre vigas de 600mm, a altura da viga deve ser igual a 60 vezes o vão em metros<sup>217</sup> (TRADA; IStructE, 2007).

No sistema Norte-americano “*Timber frame*” tradicional, os pavimentos suspensos são em geral realizados com um *deck* de madeira maciça de Espruce, Pinho ou Abeto de 1-1/2” de espessura pregado às vigas, funcionando como pavimento e como tecto em soluções de pequenas residências ou em espaços de reduzida utilização. Em situações de maiores exigências, em termos de acústica instala-se um segundo nível de vigas I-joist (de 8”, 10” ou 12”) sobre o conjunto do revestimento estrutural em *deck* (cf. Figura 252) e das vigas de pavimento de madeira maciça (San Juan Timber Frames, 2015). Para responder às exigências acústicas e de vibração, há vantagem na escolha de materiais de revestimento com maior densidade, embora deva ser verificada a carga adicional que estes impõem sobre

<sup>216</sup> Para um pré-dimensionamento inicial aplicável a espaços residenciais, no caso de vigas de pavimento.

<sup>217</sup> Para um vão de 4 metros, a altura da viga seriam 200mm com um espaçamento de vigas secundárias com 400mm.

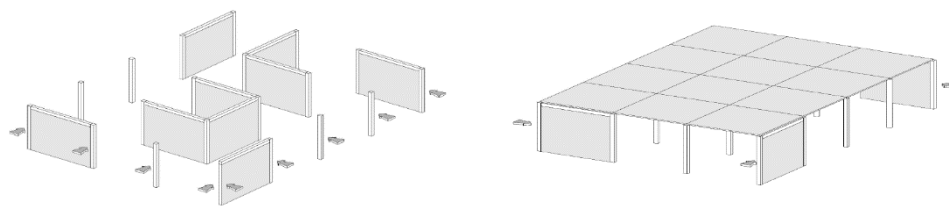


Fig. 253 - Contraventamento só nos painéis verticais e contraventamento nos painéis verticais e horizontais (Bignon & Critt-Crai, 2003).

a estrutura (Kolb, 2008). O espaço sob o pavimento é útil na medida em que permite a passagem de infraestruturas, podendo contribuir para melhorar o isolamento térmico e acústico e a estanquidade entre os dois pisos. A realização de um pavimento duplo tem também como vantagem a possibilidade de efectuar mais facilmente a transição entre pilares do piso superior para o piso inferior nos casos em que as suas projecções horizontais não sejam coincidentes (San Juan Timber Frames, 2015).

Emoras as ligações entre componentes com encaixes madeira-madeira tenham vindo a ser substituídas por ligações metálicas, pela sua maior eficácia e rapidez de execução, uma nova tendência surge com a execução e encaixes industriais. Os encaixes de madeira podem ser utilizados nas vigas secundárias de pavimento, podendo o pormenor da ligação ser optimizado de modo a incluir uma maior entrega na parte superior da viga para evitar a sua rotação. Pode também recorrer-se ao encaixe duplo, aumentando-se assim a capacidade de carga da viga. Quando as vigas são deixadas à vista deve ser deixado uma junta de cerca de 10mm no topo do encaixe para poder acomodar as variações dimensionais evitando assim que a viga sobressaia devido ao inchamento da madeira. Os ligadores metálicos mais utilizados são as suspensões aparentes do tipo “sapato” e os perfis ocultos do tipo placa, ou em “T”. A importância arquitectónica dos ligadores pode ser decisiva para a expressão visual que se pretende conferir aos espaços projectados (Kolb, 2008).

#### 3.2.1.6 PAREDES - PORTICADOS

As soluções para paredes exteriores e divisórias interiores são variadas, tanto quanto à composição dos componentes como quanto à sua posição em relação à estrutura. Pode recorrer-se aos reticulados leves convencionais, aos painéis do tipo sanduiche e a soluções de alvenarias diversas. Os painéis exteriores tipo sanduiche, cada vez mais utilizados, são constituídos em geral por um núcleo de isolamento e duas faces de placas de derivados de madeira contemplando-se em certos casos uma placa interior de gesso. Este tipo de painéis são ligados em geral com juntas de tipo macho-fêmea e a sua montagem é realizada pelo exterior com pregos de ligação à estrutura de pilar-viga (Canadian Wood Council, 1997).

A concepção de estruturas porticadas, ao contrário das estruturas de reticulados leves em que dentro de certos limites admitem soluções prescritivas, pressupõe conhecimento especializado de Engenharia estrutural, não só para o cálculo das secções dos componentes, mas também para a definição das ligações e da solução da resistência aos esforços horizontais (Kolb, 2008, p. 105).

A resistência das estruturas porticadas aos esforços horizontais pode ser efectuada através do travamento da construção em planos verticais com placas de revestimento estruturais (ou paredes de alvenaria ou de betão) dispostas ao longo dos eixos da construção. O travamento pode também ser efectuada em planos horizontais com placas estruturais instaladas sobre os diversos conjuntos de vãos estruturais. A solução estrutural pode contemplar apenas a

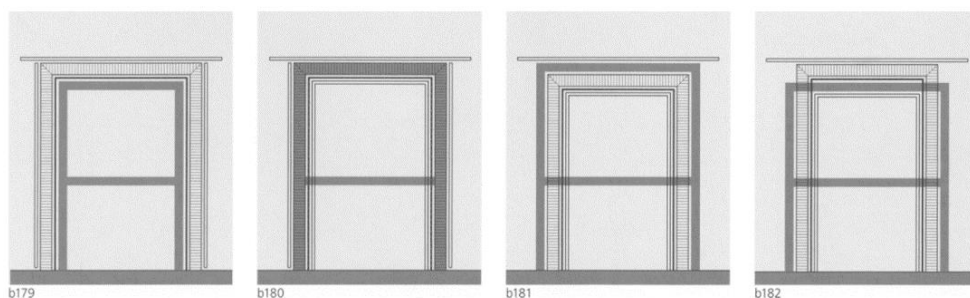


Fig. 254 - Formas de solução de integração da envolvente construída na estrutura porticada (Kolb, 2008) . Sistema de isolamento pelo exterior, sistema de isolamento entre a estrutura, sistema de isolamento pelo exterior e sistema híbrido.

primeira forma, (com contraventamento vertical) ou as duas em conjugação (cf. Figura 253). No primeiro caso, todos os eixos da construção (longitudinais e transversais) devem ser sujeitos a soluções de travamento (Kolb, 2008, p. 105). A segunda solução exige um contraventamento efectivo da superfície horizontal, permitindo a redução dos elementos de contraventamento vertical. Para além do recurso a placas de parede e pavimento, podem ser utilizados elementos de triangulação lineares metálicos, ou de madeira unindo os cantos de cada vão estrutural (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 87). A solução de madeira, se for efectuada apenas com um elemento diagonal entre pilares adjacentes deve ter uma secção similar à dos pilares e passará a actuar simultaneamente em compressão e tensão. Na solução de dois componentes mais ligeiros de madeira estes actuam essencialmente em tensão (TRADA; IStructE, 2007). Normalmente os cabos ou tirantes metálicos são ligados aos ligadores dos próprios pilares e vigas (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 87). Uma outra solução que é recorrente nos porticados tradicionais “*timber frame*” consiste no travamento dos nós estruturais com recurso a escoras (Kolb, 2008, p. 105).

Os pavimentos, tectos e coberturas com painéis associados, segundo uma regra experimental, poderão ser considerados como diafragmas horizontais desde que obedeçam a um conjunto de condições entre as quais: o rácio do vão estrutural não exceda 2:1 em qualquer direcção<sup>218</sup>, o vão não exceda 12m entre paredes portantes, a espessura mínima do painel seja 15mm para OSB ou contraplacado e 18mm para painéis de aglomerado e 12,5mm para painéis de gesso em tectos aplicados sob as vigas (TRADA; IStructE, 2007).

A envolvente construída do edifício, dada a sua independência da estrutura pode ser colocada em qualquer posição relativamente à estrutura perimetral (cf. Figura 254): 1) no exterior; 2) integrada na espessura dos pilares e vigas; ou 3) no interior. A colocação da envolvente na face interior da estrutura praticamente não é utilizada por expor os componentes estruturais às variações do clima, diminuindo a sua durabilidade. A disposição integrada da envolvente na estrutura obriga a soluções mais exigentes no cobrimento das juntas para garantir a estanquidade, obrigando a prever os efeitos das pontes térmicas e dos diferenciais de inchamento e retracção. A colocação da envolvente do lado exterior é vantajosa uma vez que é uma forma directa de evitar as pontes térmicas e de simplificar o problema das ligações e juntas (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 87) (Kolb, 2008, p. 107).

Na América do Norte no passado recente recorria-se a uma envolvente de painéis reticulados com placas de gesso no interior (de 1200mmx2400mm), com uma camada de isolamento entre os montantes dos painéis e um revestimento estrutural exterior de OSB ou de contraplacado (USDA Forest Service, 2010, pp. 17-7). Esta prática deixou de fazer sentido porque não só envolvia uma grande quantidade de trabalho em obra mas também porque a

<sup>218</sup> Comprimento por largura no plano horizontal.

eficácia térmica foi considerada inferior a outras soluções que entretanto surgiram. O uso de painéis SIP generalizou-se porque proporcionam uma envolvente contínua com mais eficácia em termos de isolamento térmico, reduzindo as pontes térmicas devido à quase ausência de montantes incorporados no seu interior.

Na América do Norte os painéis SIP são fabricados com um núcleo de EPS - polistireno expandido envolvido em ambas as faces com placas de OSB, normalmente estas placas têm 2/16", sendo a espessura total do painel 6,5". Os fornecedores de painéis podem utilizar sistemas de desenho CAD para um mais rápido e rigoroso corte com processos CNC, evitando-se assim a necessidade de cortes e resíduos em obra (San Juan Timber Frames, 2015). O mercado oferece adicionalmente uma solução de painéis não estruturais (designados *Stress Skin Panels*), que têm um custo inferior e que poderiam ser em princípio mais adequados à utilização com os porticados. No entanto os construtores preferem utilizar os painéis estruturais porque permitem suportar outros componentes de construção. Roy (Roy, 2004) refere ainda que o uso de painéis não estruturais na cobertura limitaria a disposição dos apoios a afastamentos de 1,20m.

#### 3.2.1.7 COBERTURA - PORTICADOS

Kolb (Kolb, 2008, p. 139) agrupa as estruturas de cobertura inclinada em sistemas (cf. Figura 255): 1) de vigas simples ligeiras; 2) de caibros sobre vigas longitudinais; 3) de asnas ligeiras e 4) de dois níveis estruturais com vigas longitudinais sobre pórticos paralelos; devendo também incluir-se as asnas tradicionais pesadas comuns na Europa e o sistema de vigas principais com painéis SIP ou revestimentos em deck. Os sistemas de vigas simples ligeiras surgem normalmente associados à construção reticulada, apoiando-se estas nas paredes laterais. As coberturas com caibros e vigas longitudinais, são típicas da construção porticada mas necessitam de apoios (pilares) para as vigas nas empenas ou nos espaços interiores. As coberturas com asnas, retiram vantagem de haver no mercado asnas pré-fabricadas com um leque de dimensões amplo e são igualmente utilizadas com os sistemas reticulados multiplicando em geral os elementos em intervalos de 0,60m a 1,25m. Os sistemas com dois níveis, também típicos da construção reticulada contemplam elementos de estrutura de primeiro nível (pórticos) afastados entre si de 4,00m a 7,50m sobre os quais assenta uma estrutura secundária de vigas ou de elementos planos.

Normalmente utilizam-se as coberturas de vigas simples ligeiras em coberturas com inclinações entre 30° e 60° enquanto as estruturas com asnas e com caibros sobre vigas transversais se usam em coberturas com menores inclinações, entre 15 e 45°. Geralmente com os sistemas de porticados tradicionais recorre-se a soluções de coberturas inclinadas superiores a 9/12 (37°) (San Juan Timber Frames, 2015). As coberturas de caibros e de dois níveis, têm a vantagem de eliminar a viga que tem a função de linha transversal, simplificando as ligações, uma vez que os esforços passam a ser quase exclusivamente de flexão. As coberturas de caibros com vigas longitudinais são relativamente simples de executar sendo a solução ideal para incluir janelas de cobertura. As suas desvantagens consistem na descarga adicional dos esforços nas empenas ou em pilares ou paredes interiores, ao contrário das outras soluções que permitem espaços interiores mais livres de constrangimentos.

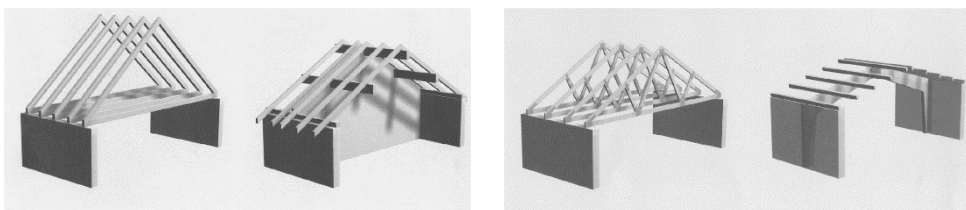


Fig. 255 - Sistemas de cobertura, segundo Kolb (2008): vigotas ligeiras, caibros sobre vigas longitudinais, asnas e vigas sobre pórticos.

A secção de uma viga de cobertura resultará das cargas consideradas, das espécies de madeira, da classe do componente utilizado, do vão e do espaçamento entre vigas, no entanto ao nível do estudo prévio de Arquitectura também se podem utilizar-se regras de pré-dimensionamento. Ching (Ching, 2008, p. 6.24) apresenta uma regra de pré-dimensionamento para secções de vigas de madeira maciça de cobertura segundo a qual a sua altura resultará da divisão da projecção do vão por 15. A largura da secção será entre 1/3 e 1/2 da altura obtida. Para o caso de vigas Glulam, a altura será dada pela divisão da projecção do vão por 20, sendo a largura entre 1/4 a 1/3.

O designado sistema “*Plank and Beam*” é um tipo específico de porticado utilizado principalmente na América do Norte, caracterizado por incluir um revestimento estrutural nos pavimentos e nas coberturas, sendo a disposição do deck da cobertura dependente do tipo de estrutura adoptada. Os componentes de revestimento (régua) têm normalmente secções de 2”x6” ou de 1”x6” (Roy, 2004) e a disposição das régua depende do tipo da estrutura de cobertura. Quando existem pórticos paralelos, em princípio o revestimento será perpendicular aos pórticos, mas no caso de ser utilizada uma cobertura de dois níveis com vigas ou madres sobre os pórticos, o *deck* será montado no sentido paralelo aos pórticos. O espaçamento das madres (vigas perpendiculares) é interdependente das exigências do *deck* utilizado, embora seja tipicamente utilizado um afastamento entre 1,20m e 2,40m (4’ a 8”) (Spence, 2003). Este tipo de cobertura é finalizado através da instalação de um isolamento térmico rígido em geral colocado sobre o *deck* com uma barreira de vapor entre ambos. Em coberturas que excedem uma inclinação de 3/12 (14°), o isolamento deve ser instalado com recurso a ligadores mecânicos (Canadian Wood Council, 2015a).

A escolha do tipo de cobertura, é condicionada pela inclinação, pela expressão arquitectónica estrutural pretendida e pela adequação à utilização que se pretende para os espaços. Por exemplo, uma solução funcional recorrentemente utilizada nas moradias unifamiliares devido à optimização do volume construído é o ático habitável sob a cobertura. Numa perspectiva de redução de custos, podem considerar-se asnas pré-fabricadas (“*attic truss*”) que são disponibilizadas no mercado para responder às situações de vãos e de inclinação mais comuns na construção residencial (cf. Figura 256).

### 3.2.1.8 OUTROS DETALHES - PORTICADOS

Para efeitos de pré-dimensionamento, Roy (2004, p. 34) refere que se pode considerar que as consolas podem projectar-se no máximo 1/3 da dimensão apoiada do componente (embora outros autores refiram 40% ou mesmo 50%). Nas estruturas de madeira, as projecções para o exterior colocam vários problemas associados à estanquidade e às pontes térmicas. Bignon e Critt-Crai (2003) consideram que uma das vantagens de se utilizarem vigas secundárias nos porticados é precisamente a possibilidade de efectuar varandas a partir das vigas que opcionalmente se podem projectar para o exterior. A regra empírica que estes autores sugerem prevê que a dimensão do balanço deva ser metade da dimensão das vigas que se estendem para o interior, devendo a dimensão da projecção ser limitada a quatro vezes a

	6m	7m	8m	9m	10m	11m
35°	NOT SUITABLE	NOT SUITABLE	NOT SUITABLE			
40°	NOT SUITABLE					
45°						
50°						

Fig. 256 - Asnas de ático com a largura útil habitável (Trussed Rafter Association, 2015).

altura das vigas secundárias, ou seja entre 60 cm a 80 cm. Para além deste limite deverão ser efectuados cálculos específicos.

A manutenção da integridade da envolvente nas estruturas porticadas é um ponto que algumas empresas tomam como uma exigência de primeira importância. A empresa San Juan Timber Frames por exemplo sugere, de forma desconcertante para um Arquitecto, mas de forma pragmática, que quando se pretende expor a estrutura no exterior (sejam vigas paralelas ou perpendiculares à parede, ou coberturas projectadas) se deve recorrer a vigas decorativas (de 6"x8") para manter a integridade da envolvente em SIPs:

*"When the home is finished no one will know the difference unless they saw it built"* (San Juan Timber Frames, 2015).

Do ponto de vista a arquitectónico embora se compreenda que elementos como telheiros, escadas, decks e outras estruturas exteriores devam ser preferencialmente construídos como entidades independentes não ligadas à estrutura interior o uso de vigas falsas é um contra-senso num sistema em que um dos argumentos para a sua utilização é a "verdade estrutural".

### 3.2.1.9 INFRA-ESTRUTURAS - PORTICADOS

Uma das formas mais recomendáveis para a instalação das infraestruturas consiste na sua incorporação nas paredes interiores uma vez que são normalmente realizadas com divisórias de reticulados leves de 2"x4" ou de 2"x6". No caso de ser necessário passar infraestruturas pelas paredes exteriores, pode-se fazer a encomenda dos painéis exteriores com os caminhos de infraestruturas executados em fábrica. No caso dos painéis SIP, estes são disponibilizados com pré-furações normalizadas, com tubagens de 1/5" ao nível das tomadas e dos interruptores, incluindo tubagens verticais a cada 4' nos locais especificados (San Juan Timber Frames, 2015).



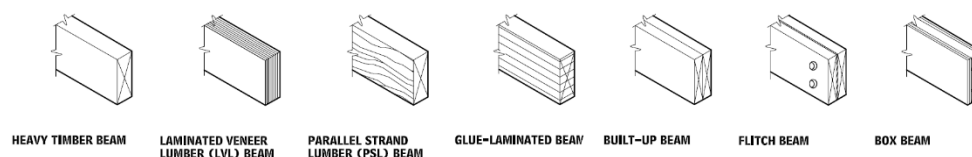


Fig. 257 - Produtos de madeira utilizados nas vigas: viga maciça, viga de LVL, viga de PSL, viga Glulam, viga composta pregada, viga composta aparafusada e viga composta tipo "caixa" (American Institute of Architects, 2008).

### 3.2.2 PRODUTOS UTILIZADOS COM PORTICADOS

Os materiais utilizados nos sistemas porticados para os componentes principais podem ser: 1) a madeira maciça serrada ou em postes, 2) os componentes ligeiros de madeira serrada (*lumber*) em lamelas pregadas de modo a formar secções maiores; 3) a madeira lamelada colada; e 4) os restantes produtos derivados de madeira.

#### 3.2.2.1 PRODUTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA - PORTICADOS

As espécies de madeira em uso no espaço europeu para estruturas de madeira são principalmente as coníferas locais e Norte Americanas como o Espruce (Whitewood - *Picea abies*) e o Abeto (Fir), recorrendo-se também ao Pinho Silvestre (Scots Pine - *Pinus sylvestris*), ao Lariço (*Larix decidua*), e à Pseudotsuga (Douglas Fir - *Pseudotsuga menziesii*) (Kolb, 2008). A secagem e a classificação são efectuadas com bases nas normas Europeias e nacionais, abrangendo classes de resistência entre C16 e C27<sup>219</sup> (Roos, Metten, & Holloway, 2007). Segundo o "Manual for the design of timber structures to Eurocode 5", a madeira maciça está normalmente disponível em comprimentos de 1,80m a 5,4m ou até 7,20m em caso de encomendas especiais, em incrementos de 300mm (TRADA; IStructE, 2007). As secções são oferecidas em incrementos dimensionais de 25mm até 75mm por 250mm e até 6 metros de comprimento. As espécies de Lariço e Pseudotsuga são as que permitem secções maiores, até 250x250mm. De entre as coníferas mais usadas, só o Western Red Cedar (*Thuja plicata*) importado da América do Norte é naturalmente durável, embora tenha uma resistência relativamente baixa e um preço elevado.

Das espécies folhosas destaca-se o Carvalho que é muito pouco utilizado devido à menor disponibilidade, preço mais elevado e maior dificuldade de transformação. As classes de resistência do Carvalho variam entre D30 e D40, sendo o seu cerne durável. O mercado disponibiliza secções em seco até cerca de 100mm (ocasionalmente 125mm), sendo esta espécie normalmente utilizada em verde nas estruturas porticadas. A matéria-prima é proveniente da Europa (Reino Unido e França), podendo obter-se secções de 300x300mm com 6 a 7 metros de comprimento (Roos, Metten, & Holloway, 2007).

Na Europa central, segundo Augustin (2008), a madeira maciça serrada é produzida em comprimentos até 16 metros em incrementos de 0,5 metros. As secções são produzidas em incrementos de dois centímetros até dimensões de 200mm a 240mm. O comprimento médio dos componentes normalizados é de 4 metros, mas são disponibilizados comprimentos que variam entre 1,5 metros e 6,0 metros. As dimensões das secções referem-se a componentes com 20% de humidade no caso da madeira maciça e 12% no caso de Glulam e derivados de madeira (*structural composites*), devendo ser essas as secções a ter em conta nos cálculos estruturais (Augustin, 2008).

<sup>219</sup> Os componentes estruturais são disponibilizados em função de classes visuais e classes de resistência que surgem designadas pela letra C se a madeira for Conífera e D se for uma folhosa, acompanhados pela resistência à flexão característica (ex. C16, C24, C27) (TRADA; IStructE, 2007).

Os países nórdicos têm uma grande importância no mercado Europeu pelo que os países importadores utilizam com muita frequência as dimensões de secções serradas características da Suécia e da Finlândia (cf. Tabela 28 e Tabela 29).

Tabela 28 - Madeira serrada segundo as dimensões comuns Suecas e Finlandesas (conteúdo de humidade de 20%) (Martitegui, Herrero, & González, 2010).

Espessura (mm)	Altura (mm)					
	100	125	150	175	200	225
38	x	x	x	x	xx	x
44	x	x	x			
47	x	x	x	x	x	x
50	x	x	xx	x	xx	xx
63	x	x	x	x	xx	xx
75	x	x	x	x	xx	xx
100	x		x		x	

Xx: medidas mais frequentes em stock  
 Comprimentos: 1,50/ 1,80/ 2,10/ 2,40/ 2,70/ 3,00/ 3,30/ 3,60/ 3,90/ 4,20/ 4,50/ 4,80/ 5,10/ 5,40/ 5,70/ 6,00

Tabela 29 - Madeira acabada segundo dimensões comuns nos países nórdicos (conteúdo de humidade de 17%) (Martitegui, Herrero, & González, 2010).

Espessura (mm)	Altura (mm)					
	95	120	145	170	195	220
34	x	x	x	x	x	
45	x	x	x	x	x	x
70	x	x	x	x	x	x

No Canadá os componentes de madeira maciça são associados ao termo “timber” e são definidos por terem secções superiores a 140mm (5-1/2”) na sua menor dimensão. Os componentes de secções mais reduzidas são associados ao termo “lumber”. As vigas de madeira maciça têm normalmente secções com uma altura que é pelo menos 51mm (2”) maior que a largura. As dimensões maiores que se conseguem obter sem dificuldades são normalmente de 394x394mm (15-1/2”x15-1/2”), disponíveis nas combinações de espécies Abeto Douglas-Lariço e Tsuga (*Tsuga heterophylla*) - Abeto (*Abies amabilis*), outras espécies normalmente só estão disponíveis em dimensões inferiores. No Canadá, a classificação da madeira maciça estrutural contempla três classes: Select structural, n.º 1 e n.º 2, havendo ainda a classificação de componentes não estruturais (Standard e Utility) previstos nos regulamentos para serem utilizados em *decks*, como bloqueadores ou tarugos, ou ainda para pequenos travamentos. As dimensões de mercado contempladas na madeira serrada começam com a secção de 140x140mm (6”x6” nominais, 5-1/2”x5-1/2” reais) e vão até aos 292mmx495mm (12” nominais, 11-1/2” reais por 20” nominais, 19-1/2” reais) sendo comercializadas como madeira verde. As grandes secções dos componentes tornam a secagem da madeira em estufa muito difícil devido às tensões que se verificam entre a superfície e a matéria interior do material, sendo assim, a madeira é em geral fornecida com humidade superior a 19%.

A madeira inicia o processo de retracção com um conteúdo de humidade inferior a 28%-30%, sofrendo, em espaços exteriores, variações nas suas dimensões entre 1,8% e 2,6% na largura e na altura da secção (Canadian Wood Council, 2015), ou 1% a 2%<sup>220</sup> (TRADA; IStructE, 2007) dependendo da humidade ambiente. Os componentes colocados no interior em ambientes secos, sofrem retracções maiores, da ordem dos 2,4% a 3% nas duas dimensões da secção. Dadas estas condicionantes, a concepção e a pormenorização em particular devem contemplar tolerâncias que permitam os movimentos naturais da madeira sem colocar em causa a integridade dos componentes. Quando a envolvente construída

<sup>220</sup> A dimensão variará cerca de 1% por cada 5% de alteração no conteúdo de humidade (TRADA; IStructE, 2007).

contempla juntas entre materiais estruturais de preenchimento, os selantes devem ter características que acomodem as variações dimensionais previstas. No entanto as fendas nas estruturas com madeira maciça são comuns, devendo ser prevista uma tolerância no seu dimensionamento devido à eventual perda de resistência. No caso dos pilares as fendas em geral não têm importância estrutural a não ser que estas ocorram de forma a dividir os componentes (Canadian Wood Council, 2015).

Na Europa os componentes cuja secção tenham dimensões superiores a 100mm, devido à dificuldade na sua secagem, são fornecidos normalmente com humidade superior a 20%. Em caso de necessidade deve-se especificar então que os componentes devem ser secos abaixo de 20% de humidade antes da instalação ou, em alternativa, deve (o Engenheiro responsável pelo cálculo) ter em conta valores de cálculo ( $k_{mod}$ ) correspondentes à classe de serviço 3. É possível especificar componentes “super-secos” (“super dried”) de madeira maciça com um conteúdo de humidade inferior 14% e com um revestimento impermeável. No entanto, mesmo estes componentes, se expostos ao ambiente exterior sofrerão necessariamente alterações dimensionais (TRADA; IStructE, 2007).

Alguns dos problemas associados ao uso de madeira maciça<sup>221</sup> podem ser evitados com a utilização de vigas e pilares de madeiras compostos com componentes menores. Para além do recurso à simples ligação de componentes para formar secções maiores, pode-se recorrer à solução tradicional das vigas ou dos pilares duplos, ou à composição de vigas conjugando secções de madeira maciça e contraplacado. De entre as várias alternativas, os componentes lamelados colados tipo Glulam, acabam por oferecer uma solução mais segura em termos de comportamento previsível dos componentes. A madeira lamelada colada é fabricada em ambientes protegidos, com controlo de qualidade, permitindo disponibilizar componentes de maiores secções, comprimentos e até formas. O preço dos componentes lamelados colados poderá ser superior aos correspondentes em madeira maciça, mas a sua resistência também será superior (Canadian Wood Council, 2015a).

O uso de componentes Glulam<sup>222</sup> possibilita obter uma expressão arquitectónica próxima da madeira maciça, com algumas vantagens em termos de resistência e comportamento perante a humidade. Uma vez que os componentes Glulam são fabricados com madeira seca (16% de humidade) a sua estabilidade é excelente, sendo menos susceptíveis a fendas e descolagens. As vigas lameladas normalmente suportarão vigas de pavimento que poderão ser *I-joists*, havendo dimensões de mercado compatíveis com alturas semelhantes a estas e larguras adequadas às dimensões dos membros das paredes reticuladas de 2"x4" e de 2"x6". Segundo a APA - Engineered Wood Association dos EUA, as vigas de madeira lamelada colada utilizadas normalmente na construção residencial vencem vãos que variam normalmente entre os 2,44m (8') e os 7,31m (24'), com secções entre os 3-1/8"x7-1/2" e os 5-1/2"x6" quando suportam pavimentos com vão de vigas perpendiculares à viga principal de

<sup>221</sup> A escolha de madeira maciça deve implicar a verificação da oferta do mercado. Por exemplo, no Canadá, os componentes maciços de grande dimensão são provenientes do Oeste pelo que nem sempre podem ser colocados a tempo nas obras que ocorrem no Leste. Para além dos pedidos especiais com preços superiores, as dimensões de componentes ligeiros (lumber) estão disponíveis no Canadá até 6,10m no Oeste, enquanto no Leste a dimensão normal são os 4,48m. Também a escolha das espécies é importante porque se para os componentes ligeiros o problema não se coloca, para as maiores dimensões devem ser escolhidas espécies do Oeste como o Abeto Douglas (Douglas Fir), o Larício do Oeste (Western Larch) ou a Tsuga da Costa do Pacífico (Pacific Coast Hemlock). Para além da espécie deve ser verificada a classe de madeira prescrita, uma vez que deverá haver menor disponibilidade de classes superiores. O CWC recomenda que se prescreva uma espécie com dimensões mínimas e classes mínimas permitindo misturas (Canadian Wood Council, 2015).

<sup>222</sup> As vigas e os pilares em Glulam podem requerer processos de fabrico diferenciados sempre que a escolha das camadas de lamelas for realizada em função das características e comportamento esperado do componente. O mercado disponibiliza produtos complexos, como as vigas Glulam híbridas, em que as lamelas superiores e inferiores são em LVL (APA - The Engineered Wood Association, 2015).

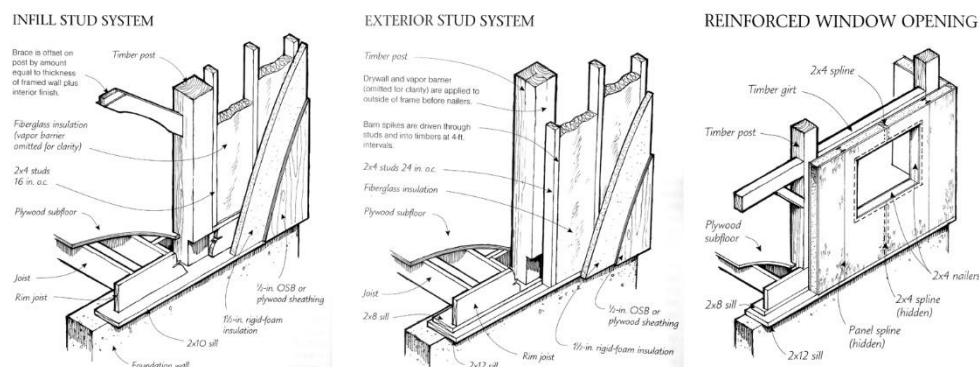


Fig. 258 - Tipos de revestimento com o sistema de porticados: 1) painéis de reticulados leves entre a estrutura; 2) pelo exterior da estrutura e 3) painéis SIP pelo exterior da estrutura com um vão (Benson, 1977).

2,40m (8') e secções entre os 3-1/8"x9" e os 8-3/4"x18" quando suportam pavimentos com vão de vigas perpendiculares à viga principal de 6,10m (20') (APA - The Engineered Wood Association, 2015).

Os pilares Glulam, na América do Norte têm em geral as dimensões de 5-1/8" e 6-3/4" (130mmx171mm) embora possam ter dimensões maiores, sendo fabricados em múltiplos de 1-1/2" (381mm) para espécies do Oeste e 1-3/8" (349mm) para Pinhos do Sul. Uma das vantagens associadas ao uso de pilares em Glulam é a disponibilidade de dimensões maiores que as da madeira maciça permitindo responder com mais facilidade a soluções de pilares contínuos entre pisos (APA - The Engineered Wood Association, 2015). Segundo o "*Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5*", o comprimento máximo de vigas LVL é de 23 m, sendo o comprimento de componentes Glulam limitado pela capacidade do meio de transporte, no entanto, os comprimentos máximos em stock são de 12m para o LVL e os 15m para o Glulam (TRADA; IStructE, 2007).

Na Europa, as vigas de Glulam<sup>223</sup> estão disponíveis em diversas dimensões, sendo possível obter secções desde 90mmx180mm até 240mmx2050mm, embora a Glued Laminated Timber Association (GLTA) no Reino Unido considere como mais regulares as dimensões entre 65mmx180mm e 215mmx1035mm. O comprimento das vigas pode atingir os 31 metros, embora os transportes de vigas superiores a 15 metros exijam autorizações e procedimentos muito exigentes (TRADA; IStructE, 2007).

Na Alemanha, a indústria da madeira produziu uma marca designada KVH para componentes estruturais com parâmetros normalizados de humidade (15% com tolerância de mais ou menos 3%), de propriedades mecânicas (C24 ou C30) e de qualidade visível, para além de uma gama de secções normalizadas com larguras entre 60cm e 120cm e profundidades entre 120cm e 240cm. Os componentes sem juntas de entalhes múltiplos (*finger joints*) têm comprimentos normalizados de 5,00m, podendo os componentes com entalhes de juntas múltiplas (*finger joints*) chegar aos 18,00m. São também disponibilizadas vigas "DUO" e "TRIO", que são componentes do tipo GLULAM de duas ou três peças coladas de modo a que as zonas mais próximas da medula fiquem expostas nas faces exteriores.

<sup>223</sup> Os componentes Glulam são normalmente fabricados em lamelas de 45mm de espessura (em certos casos 33mm), sendo as espessuras dos componentes em geral múltiplos dessa dimensão. Os componentes de Glulam são classificados através de classes de resistência designadas pela letra GL seguido do valor da resistência à flexão característica e de uma letra, h ou c, que indicam a composição homogênea ou combinada das lamelas (em que as classes mais elevadas surgem nas faces exteriores (TRADA; IStructE, 2007).

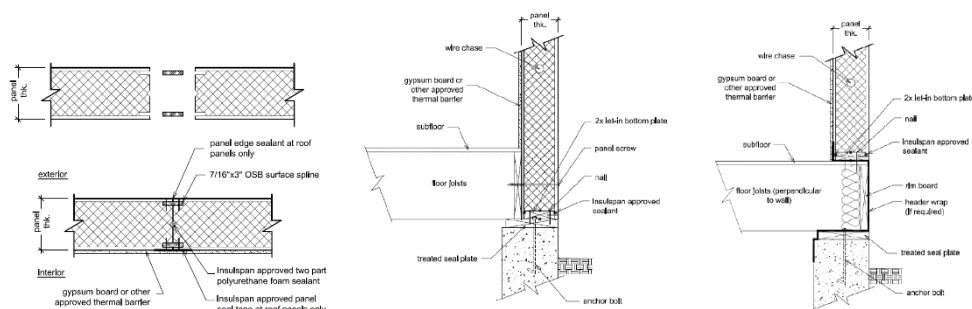


Fig. 259 - Ligação entre painéis SIP e ligação do pavimento à parede exterior (INSULPAN, 2015).

Estas vigas estão disponíveis em secções normalizadas com larguras entre 80mm e 240mm e profundidades entre 100 e 240mm.

A empresa Stora Enzo comercializa madeira maciça com entalhes múltiplos KVH® com dimensões variáveis entre 40mm e 140mm de largura e alturas entre 60mm e 280mm, sendo os comprimentos normalizados entre 5m e 13m (com possível fabrico até 16 m). O teor de humidade dos componentes é de  $15\% \pm 3\%$ . São ainda comercializadas as vigas laminadas Duo com larguras inferiores a 80mm e alturas inferiores a 280mm e Trio com secções variáveis com um máximo de 12mm de largura e 28mm de altura (Stora Enso, 2015). Esta empresa comercializa também componentes GLULAM com as seguintes dimensões normalizadas: 90mm, 105mm, 120mm para as secções de pilares e 90mm a 390mm para a altura de vigas e 90, 105mm e 120mm para a largura. Os comprimentos variam entre 2,650m e 5,985m. Os produtos são fornecidos com um teor de humidade de  $12\% \pm 2\%$  (Stora Enso, 2015).

### Painéis

Os principais tipos de painéis utilizados em conjugação com os sistemas porticados são os painéis reticulados e os painéis do tipo sanduiche. Os painéis reticulados fabricados em obra ou pré-fabricados são compostos de montantes e travessas com isolamento térmico colocado entre os vazios destes e em geral com uma placa de OSB no exterior. Os painéis sanduiche do tipo SIP embora tenham uma constituição diferente são utilizados de forma semelhante, envolvendo no entanto um conjunto de preocupações de detalhe diferentes.

Os painéis sanduiche SIP são fabricados com um núcleo de um material isolante, que é normalmente o poliestireno expandido (EPS), estando disponíveis também em poliestireno extrudido (XPS), poliuretano (PUR) e poli-isocianurato (PIR), envolvido por duas faces de painéis OSB<sup>224</sup>. O núcleo pode incluir passagens de cabos horizontais como norma e passagens verticais opcionais introduzidas a pedido durante o fabrico. O isolamento térmico do núcleo é interrompido apenas pontualmente por montantes (em caso de necessidade estrutural), formando uma camada de isolamento quase contínua. As paredes construídas com painéis SIP são mais rígidas que as correspondentes em painéis reticulados, podendo os painéis ser utilizados como estrutura portante ou como revestimento de estruturas porticadas.

Os painéis aplicados como paredes exteriores devem ter um revestimento interior que funcione como barreira de protecção (normalmente utilizam-se os painéis de gesso cartonado). A espessura normal dos painéis SIP depende dos fabricantes: 14,4cm para a SipsEcoPanels (2015), 14,2mm ou 17,2cm para a Kingspan (2015), 10mm, 12,5mm e 15mm para a SIPCO (2015), 6-1/2" (16,51cm) para a INSULPAN (2015), disponibilizando-se outras

<sup>224</sup> As espessuras variam com os fabricantes: por exemplo 11mm (INSULPAN, 2015; SIPCO, 2015), ou 15mm (Kingspan, 2015).

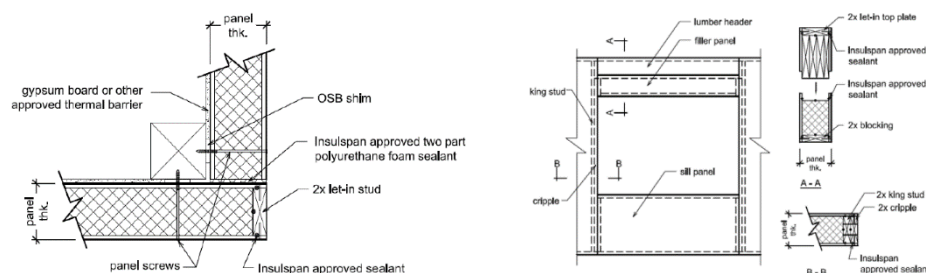


Fig. 260 - Ligação dos painéis nos cantos e num vão de janela (INSULPAN, 2015).

espessuras como 4-1/2" (11,43cm), 8-1/2" (21,59mm), 10-1/4" (26,03mm) e 12-1/4" (31,12cm). As dimensões dos painéis no plano variam também de fabricante para fabricante: entre 1200mm de largura até 6500mm de comprimento (SIPCO, 2015), ou um mínimo de 200mm por um máximo de 1220mm de largura por 7500mm de altura (Kingspan, 2015), ou ainda 1219mmx2438mm (4'x8') e 2438mmx7315mm (8'x24') (INSULPAN, 2015). Se houver necessidade de alterar ou ajustar um painel em obra, a sua transformação é fácil de efectuar.

A ligação entre painéis sucessivos pode ser realizada através de diferentes métodos que devem sempre prever a minimização de pontes térmicas (cf. Figura 259). Um dos métodos de ligação dos painéis topo a topo consiste no uso de dois elementos de OSB de 7/16"x3" inseridos em negativos realizados no núcleo de isolamento que são depois bloqueados entre si através de parafusos. A junta entre painéis é depois selada com espuma de poliuretano inserida através de furações realizadas intervaladamente próximo da linha de junção dos painéis (a cada 12" a 18"). Existe uma segunda forma de ligação que consiste em inserir um elemento, composto de uma sanduiche de OSB e poliuretano ao longo de toda a altura do painel, colado em todas as suas quatro faces às ranhuras efectuadas nos painéis SIP, sendo depois aparafusado todo o conjunto. Uma terceira forma de ligação consiste na utilização de um elemento de madeira maciça duplicado ou não) como ligador. Em todos os casos, deve ser colocada uma fita selante ao longo da junta na face em que é aplicado o revestimento pára-vapor (INSULPAN, 2015).

Os painéis são instalados verticalmente, não havendo em certos casos necessidade de utilizar meios auxiliares de elevação, devendo ter-se em atenção que os painéis pesam 4 lbs/ft<sup>2</sup> (19,52Kg/m<sup>2</sup>). Quando as condições da obra o permitem, os painéis podem ser suportados directamente pela fundação. Neste caso a face inferior dos painéis é ligada a um elemento de madeira com 2" de espessura que é aparafusado a uma travessa de soleira ancorada no betão. Outra opção consiste em ligar o painel SIP a esse elemento de madeira, previamente aparafusado directamente ao revestimento estrutural do pavimento (OSB ou contraplacado) (INSULPAN, 2015).

A ligação dos painéis nos cantos deve ser efectuada através de aparafusamento da junção topo-a-face (cf. Figuras 262 e 260). Os painéis de canto devem ter bloqueadores de topo de madeira maciça de 2" de espessura. No caso da construção porticada, os dois painéis devem ser aparafusados aos pilares de madeira. As janelas e portas são montadas sobre as aberturas feitas nos painéis que por sua vez terão os bloqueadores a envolver toda a abertura do vão. Os lintéis de madeira estrutural devem ser executados com uma ligação à travessa de topo, preenchendo-se depois a altura necessária com painel SIP. Normalmente os vãos surgem entre dois painéis laterais, um painel superior e outro inferior, a não ser que por incompatibilidade surjam no meio de uma junta.

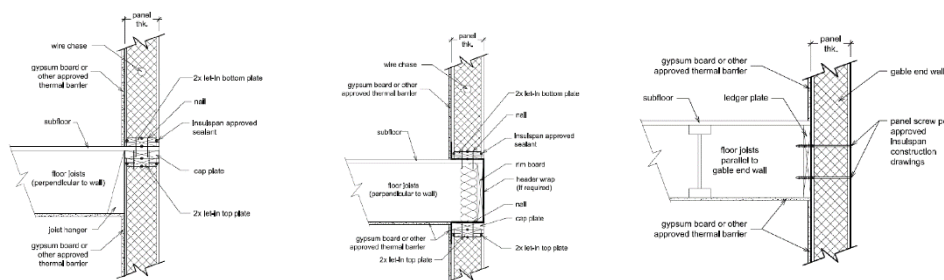


Fig. 261 - Ligações entre pavimento elevado e parede exterior (INSULPAN, 2015).

Há dois métodos principais na ligação entre a parede inferior, a parede superior e o pavimento (Figura 261). No primeiro caso, inserem-se ligadores metálicos de suspensão na travessa de topo da parede inferior e sobre ela assenta-se o revestimento de topo do pavimento estrutural. No segundo caso, as vigas de pavimento e uma viga perimetral interrompem os painéis assentando sobre o painel inferior (INSULPAN, 2015).

A ligação entre painéis de parede com painéis de cobertura faz-se com o corte dos painéis de parede a acompanhar a inclinação da cobertura e com a inserção de um perfil de bloqueio, aparafusando-se os painéis a partir da face superior da cobertura. Uma segunda alternativa consiste no corte recto do painel fazendo-se um acrescento com elementos de madeira maciça que por sua vez acompanharão a inclinação referida. Em geral as coberturas requerem vigas de cumeeira com uma secção adequada às inclinações (chanfros na parte superior), podendo ser necessário em coberturas de maiores dimensões instalar vigas intermédias.

Os painéis de cobertura em geral têm entre 8-1/4" e 12-1/4" e pesam 5 lbs/ft<sup>2</sup> (24,41Kg/m<sup>2</sup>). Normalmente é necessário recorrer a equipamentos de elevação para a sua instalação. Em alguns casos, os painéis vencem o vão desde o beirado até à cumeeira, mas com coberturas maiores introduzem-se painéis adicionais sobre suportes intermédios de vigas de cobertura paralelas à cumeeira. Em caso de se ter uma estrutura de cobertura com vigas perpendiculares à cumeeira, os painéis serão dispostos na horizontal. O encontro dos painéis de cobertura na cumeeira pode ser realizado de topo-a-face ou à meia esquadria. As dimensões permitidas para as consolas com painéis nos beirados e nas empenas dependem das sobrecargas consideradas para a neve e vento, e do tipo de painel utilizado. Considera-se em geral que um painel (INSULPAN) pode ter uma consola até 60cm (24") se a parte do painel para o interior da construção tiver pelo menos o dobro dessa dimensão. Para projecções maiores devem efectuar-se cálculos estruturais.

As aberturas na cobertura para chaminés e vãos poderão necessitar de reforços de topo ou vigas inferiores adicionais. Com aberturas até 60cmx60cm (24"x24") os topos das aberturas devem ser reforçados com réguas de madeira de 2" de espessura. Os topos dos painéis de beirado devem ser também bloqueados, devendo utilizar-se sempre um painel de remate (fascia) (INSULPAN, 2015).

Os painéis SIP podem ser utilizados também como painéis de pavimento sobre espaços de serviço inferiores. As instalações técnicas pelo interior dos painéis pode constituir um requisito do projecto para a fábrica, mas normalmente estão previstas tubagens horizontais a 14" e a 44" de distância da base do painel, devendo as cablagens verticais ser realizadas a pedido. Normalmente não deverão ser previstas formas de iluminação encastrada nos painéis. As instalações de tubagens de água não devem ser remetidas para o interior dos painéis das paredes exteriores, devendo ser sempre previstas nos painéis interiores, devendo



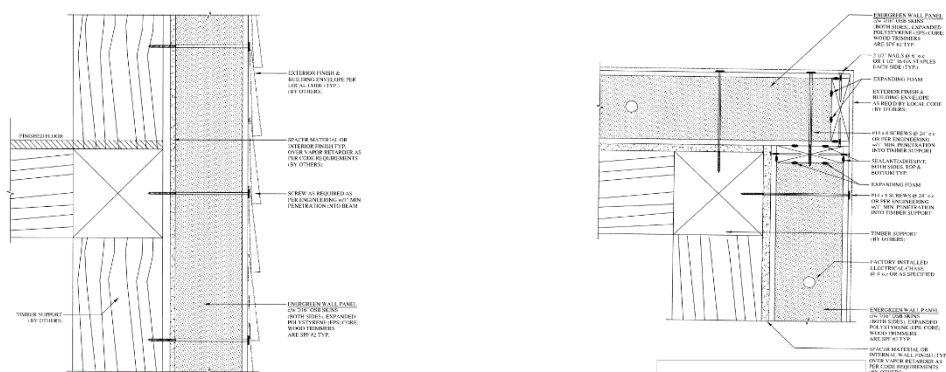


Fig. 262 - Detalhes - Corte (pavimento parede exterior) e planta (canto de paredes exteriores) (San Juan Timber Frames, 2015).

em alternativa prever-se calhas técnicas. Todas as juntas entre paredes e cobertura devem ser seladas com espuma de poliuretano antes da aplicação dos acabamentos (INSULPAN, 2015).

O revestimento de acabamento deve ser concebido e instalado com especial cuidado porque quando há penetração de água para o interior dos painéis SIP, os danos não são imediatamente evidentes. Deve ser instalada pelo exterior uma membrana estanque que funcione como superfície de drenagem para qualquer água que penetre para além das primeiras barreiras de protecção. O revestimento final deve prever um espaço de caixa-de-ar de pelo menos 3/8" (9,52mm) onde é aplicada uma estrutura de suporte com sarrafos afastados normalmente de 16" (406mm).

Nas coberturas deve prever-se uma segunda linha de defesa para além da primeira membrana, podendo ser uma membrana betuminosa escolhida em função das condições do clima, inclinação e acabamentos. Deve-se prever uma estrutura de suporte no topo dos painéis para acabamentos que sejam de madeira, cerâmica ou shingles. Na construção com painéis SIP, algumas paredes interiores devem ser ligadas aos painéis exteriores através de parafusos pelo exterior.

### 3.2.3 EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - PORTICADOS

A acústica, a térmica e a estanquidade são exigências cujas soluções podem ter implicações negativas no comportamento da estrutura. As exigências que mais implicações poderão ter no dimensionamento estrutural são as térmicas uma vez que a definição da envolvente muitas vezes obriga a ajustes dimensionais na estrutura. Também as protecções acústicas, podem ter implicações estruturais como acontece por exemplo quando se adoptam revestimentos de pavimento com maior densidade que o habitual (TRADA; IStructE, 2007).

#### 3.2.3.1 ESTABILIDADE - PORTICADOS

A concepção estrutural no processo de projecto começa quando o Arquitecto recorre a pré-dimensionamentos viáveis que lhe permitem experimentar alternativas antes de as submeter à avaliação do Engenheiro. Nesta fase o Arquitecto deve reunir toda a informação que permita definir as condicionantes de base: as acções, as exigências de serviço, as classes de serviço, as exigências de durabilidade e as exigências de segurança contra incêndio. É no estudo prévio que o Arquitecto, em diálogo com o Engenheiro de estruturas deve levantar as questões sobre as cargas verticais a considerar, as direcções das vigas de pavimento, o sistema de travamento, a compatibilidade com as exigências de serviço e o tipo de ligações

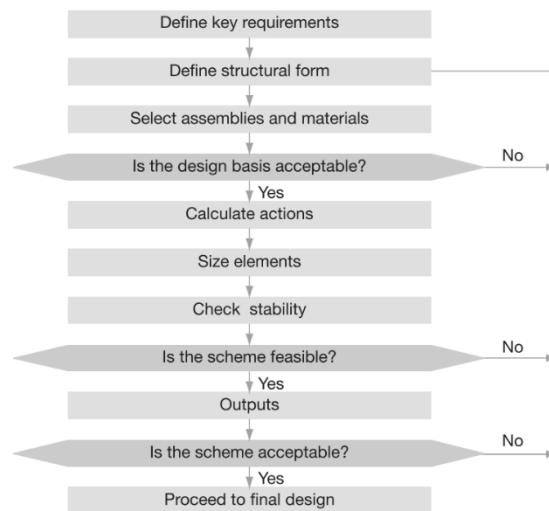


Fig. 263 - Concepção inicial da Estrutura de madeira (TRADA; IStructE, 2007).

adequado, contemplando-se também o tipo de materiais e componentes a utilizar na estrutura (TRADA; IStructE, 2007).

Do ponto de vista da Engenharia, os manuais aconselham para as fases iniciais de projecto a adopção de processos simples de pré-dimensionamento:

*“At the initial stages of the structural design of buildings it is necessary, often at short notice, to produce alternative schemes that can be assessed for architectural and functional suitability and cost. It follows that initial design methods should be simple, quick, reliable and moderately conservative. Lengthy analytical methods should be avoided.” (TRADA; IStructE, 2007).*

As soluções ensaiadas pelo Arquitecto são apresentadas ao Engenheiro que efectua uma análise centrada no cálculo e no dimensionamento. Este começará pelo cálculo das acções e pelo dimensionamento dos componentes (podendo aqui ser utilizados métodos aproximados com base em documentos-guia e estruturas similares). Esta fase termina com a verificação da estabilidade da estrutura, permitindo efectuar-se uma avaliação da sua viabilidade em termos absolutos ou comparativos com base em critérios de economia, fabrico, e montagem (TRADA; IStructE, 2007).

Após a selecção de uma proposta inicia-se o processo de concepção no âmbito do qual são efectuados os desenhos da estrutura, dos componentes e das ligações entre elementos e ainda as estimativas de custo ou orçamentos. No caso de ser aprovado pelo Arquitecto e pelo cliente procede-se então à concepção final que poderá, em princípio, ser desenvolvida pela equipa da empresa de fabrico dos componentes (TRADA; IStructE, 2007).

### 3.2.3.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO - PORTICADOS

A resistência ao fogo deve ser considerada nas fases iniciais da concepção porque os seus requisitos podem ter consequências no dimensionamento dos componentes, no peso próprio da estrutura e no tipo de ligações compatíveis (TRADA, 2008). Os componentes estruturais expostos ao fogo devem manter a resistência mecânica, a integridade e o isolamento por um período de tempo especificado. A resistência mecânica dos componentes expostos é assegurada através do dimensionamento adicional tendo em conta o comportamento previsível da madeira, podendo também ser montados elementos adicionais de protecção e isolamento (considerados sacrificiais se forem de madeira). Também os ligadores devem ser isolados podendo-se recorrer a revestimentos como o gesso, os rebocos, os contraplacado ou outros derivados. O método de sobredimensionar as secções dos componentes é aplicável

tanto à madeira maciça como aos derivados de madeira (Glulam, LVL, etc.), mas não às vigas tipo I-joists.

Na Europa as exigências aplicáveis para resistência ao fogo constam do EC 5-1-2 (Eurocódigo 5 Parte 1-2) (TRADA, 2008). O dimensionamento correcto das estruturas permitirá obter uma resistência ao fogo de uma hora, podendo a protecção dos componentes interiores e dos ligadores metálicos ser efectuada complementarmente por pintura com solução ignífuga. Para protecções superiores a uma hora, os elementos estruturais devem ser normalmente protegidos através de outros revestimentos (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 92).

Nas fases iniciais do projecto, podem assumir-se regras empíricas que consistem em considerar que uma resistência de 30 minutos ao fogo pode ser conseguida para a cobertura, pavimentos e componentes de parede de madeira maciça, Glulam, ou LVL, com placas de gesso de 12,5mm (dependendo da densidade pode ser necessário recorrer a placas de 15mm - para pavimentos com I-Joists deve-se contemplar sempre esta espessura). Para resistências de 60 minutos deve-se prever uma espessura de painéis de gesso de 25mm (dois painéis)<sup>225</sup>.

Para o pré-dimensionamento das estruturas podem também assumir-se os *rácios* teóricos de combustão da madeira disponibilizados no EC5-1-2 que conduzem no entanto a soluções conservadoras. Para cada face exposta ao fogo e não protegida por um isolante antifogo, consideram-se os valores de 0,8mm/min para as madeiras resinosas, 0,7mm/min para Glulam de resinosas e LVL, e 0,55mm/min para madeiras de folhosas e Glulam de folhosas (TRADA; IStructE, 2007).

#### 3.2.3.3 DURABILIDADE - PORTICADOS

O ciclo de vida a considerar para as estruturas de madeira, tal como previsto no Eurocódigo (EC0 2.3), deve ser de pelo menos 50 anos, embora o objectivo final seja sempre uma durabilidade muito superior tendo em conta que as estruturas devem ser concebidas e mantidas para evitar a sua degradação (TRADA; IStructE, 2007). Os detalhes devem ser concebidos para que as estruturas se mantenham secas e ventiladas e quando tal não for possível, devem ser escolhidas espécies duráveis ou em último recurso prescritos tratamentos químicos.

Os métodos de protecção da madeira tendo como objectivo prolongar a sua durabilidade podem ser divididos em três grupos. O primeiro foca-se na concepção global (e.g. coberturas balançadas, a orientação e a protecção periférica), o segundo na pormenorização dos detalhes (e.g. protecções metálicas e protecções de madeira sacrificiais) e o terceiro nos tratamentos dos componentes (tratamentos mecânicos, térmicos e químicos).

A concepção dos componentes expostos a ambientes exteriores deve contemplar dispositivos de expulsão e de secagem de água, prevendo-se também a sua ventilação. Os pilares e postes estruturais devem ter a base afastada do pavimento pelo menos 150mm, suportados por plintos de betão (com uma membrana intermédia resistente à água) ou apoios metálicos (TRADA; IStructE, 2007). No caso de serem utilizados ligadores metálicos devem prever-se orifícios de drenagem para permitir que a água acumulada entre a madeira e o ligador possa ser eliminada. Nas situações, não recomendáveis, em que as bases dos pilares assentem directamente em alvenaria ou em lajes, a madeira deve ser sempre tratada (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 81). Os pavimentos envolventes às bases dos pilares devem estar inclinados de

<sup>225</sup> Do ponto de vista das exigências acústicas, serão necessárias maiores espessuras (TRADA; IStructE, 2007).

modo a evitar acumulação de água. Sobre os elementos expostos (e.g. vigas) sempre que possível devem ser instalados capeamentos e rufos de protecção metálicos.

Para componentes exteriores, devem escolher-se espécies duráveis ou madeira tratada. Os procedimentos para determinar as classes de risco e os procedimentos a adoptar estão estabelecidos nas normas aplicáveis, no entanto por vezes pretende-se reforçar a prevenção tratando os componentes de madeiras resinosas em zonas interiores. Os ligadores metálicos se sujeitos a ambientes corrosivos (zonas de costa marítima por exemplo), ou se ligados a madeiras com taninos que os possam afectar (como acontece com o Carvalho), devem ter características anti corrosão. O EC5 fornece as especificações mínimas para a protecção dos ligadores (TRADA; IStructE, 2007).

Na concepção dos detalhes, os cuidados fundamentais devem incidir nas juntas entre diferentes componentes expostas ao ambiente exterior, devendo prever-se meios eficazes de drenagem e ventilação (Schein, 1968). Nas ligações entre componentes perpendiculares (e.g. vigas), pode-se optar por ligações a meia esquadria evitando os topos expostos através dos quais mais facilmente a água penetra na madeira (Canadian Wood Council, 2015a). Nas ligações com parafusos, deve-se ter em conta que os movimentos de retracção e inchamento da madeira devem poder ocorrer sem encontrar resistência que conduza a fendas e fracturas (Schein, 1968).

Admite-se que os elementos de grande secção terão sempre tendência a fender devido à retracção. No entanto as fendas podem ser problemáticas, principalmente quando ocorrem nos elementos expostos, porque abrem espaços susceptíveis à acumulação de água e humidade, podendo constituir-se como focos privilegiados de ataques biológicos. Uma das soluções preventivas a ter em conta na concepção dos componentes estruturais consiste na abertura voluntária de juntas nos topos ou ao longo dos componentes que aliviam as tensões a que os componentes estão sujeitos. Outra solução eventual consiste na redução das secções, concebendo pilares e vigas duplicadas ou reduzindo a secção só nas extremidades expostas (situação utilizada tradicionalmente em vigas) (Schein, 1968).

Uma vez que as estruturas porticadas recorrem a componentes de madeira maciça ou Glulam expostos, os aspectos da sua retracção diferencial devem ser tidos em conta na concepção arquitectónica dos componentes e dos detalhes. Na concepção de componentes que estão ligados entre si, como acontece com as vigas e com os seus apoios deve-se ter em conta o tipo, a disposição e a dimensão do material em cada um dos apoios. Se os apoios não forem do mesmo tipo, corre-se o risco de assentamentos diferenciais, como acontece também em coberturas assentes em vigas de secções diferentes. Outro cuidado a ter relaciona-se com todas as ligações integrando componentes com os veios dispostos na horizontal. Uma vez que a retracção é maior na direcção perpendicular a esses componentes, todos os elementos adjacentes da construção devem estar preparados para o assentamento que poderá ocorrer com uma dimensão significativa (Schein, 1968).

A inspecção periódica das estruturas após a conclusão da obra é fundamental para garantir a sua durabilidade, devendo estar previsto um plano de manutenção. Na concepção dos detalhes devem prever-se tectos falsos aparafusados bem como outro tipo de revestimentos que ofereçam acesso visual para inspecção do estado das estruturas.

O transporte e a entrega dos componentes em obra devem ser sujeitos a alguns cuidados para garantir a qualidade dos componentes: Deve-se planear as entregas de materiais de modo a evitar tempos excessivos de armazenagem. Deve-se preparar a área de

armazenagem com antecedência, sinalizando-a e restringindo o seu acesso. O manuseamento deve ser cuidado de modo a evitar a danificação das protecções, dos cantos e dos topos dos componentes. Os suportes e as coberturas de protecção devem ser ventilados, evitando tanto a exposição dos componentes à chuva e ao sol como as mudanças rápidas de humidade, devendo ser mantidas até ao momento da instalação (Canadian Wood Council, 2015a). Os componentes que não estiverem secos não devem ser utilizados em interiores de obras já com a envolvente fechada. Finalmente, deve-se ter o cuidado de não aquecer muito rapidamente os espaços interiores após a montagem das estruturas para evitar a fendilhação dos componentes (Canadian Wood Council, 2015a).

### 3.2.4 PROCESSOS - PORTICADOS

A América do Norte pela sua vasta tradição e experiência no mercado da concepção e construção de casas de madeira é exemplar no tipo de processos que acabam por ser aqueles que numa escala diferente podem ocorrer em Portugal. Nos EUA, as empresas de construção e fabrico de casas com o sistema porticado tipo “timber frame” não exigem que o Arquitecto tenha conhecimento do sistema. Quando trabalham com um Arquitecto, esperam receber dele uma configuração do tipo espacial, formal e simbólica, reservando para si a responsabilidade de desenvolver o sistema construtivo:

*“San Juan Timberframes makes it easy to add a cost effective timberframe to your designs. We specialize in working with architects and designers. You do not need a working knowledge of timberframe joinery to create stunning timberframe showpieces. You provide the basic design and vision and we provide the timberframe. We have the production capability to quickly handle all of your projects from large lodges, churches and executive homes down to small guest cabins” (San Juan Timber Frames, 2015).*

A empresa (San Juan) considera não haver conflito de interesses para os Arquitectos que abordam a empresa uma vez que não faz parte dos seus serviços normais o fornecimento de desenhos de licenciamento<sup>226</sup> preferindo sempre que sejam os Arquitectos locais a tratar desse processo. Em termos de construção, a empresa pode construir a obra fornecendo uma equipa de um subempreiteiro, mas em geral propõem que seja envolvido um construtor local que supervisione toda a obra. A empresa apenas envia uma equipa de consultores para aconselhar nos trabalhos mais especializados. Outra modalidade seguida pela empresa consiste no fornecimento de um *Kit*, por cuja montagem o dono da obra fica responsável (San Juan Timber Frames, 2015).

As vantagens para o Arquitecto envolvido neste tipo de processo e com este sistema construtivo, na perspectiva da empresa San Juan Timber Frames, são a flexibilidade de abordagem ao tipo simbólico (“*adaptable to any style*”) e a colaboração e consultoria que pode obter na elaboração do projecto de Arquitectura e das especialidades. Quanto à componente estrutural, chega-se a referir expressamente que é preferível contar apenas com a equipa de Engenharia da empresa. Com o estudo prévio do cliente e do Arquitecto, a empresa elabora a sua proposta de estrutura, providenciando uma estimativa de custo mais rigorosa que pode demorar uma a duas semanas. Após a integração das *contribuições* do Arquitecto, do cliente e da Engenharia, conclui-se o projecto da estrutura, incluindo o projecto da envolvente utilizando painéis SIP, podendo demorar entre um mês e meio a seis meses.

O projecto completo da estrutura pode ser depois fornecido ao Arquitecto que o integra no projecto a submeter para licenciamento (cf. Figura 264). Paralelamente produzem-se os

<sup>226</sup> No entanto, se o cliente necessitar de serviços de arquitectura, esta fornece-os disponibilizando a sua equipa de design. Esta é também a postura da maior parte das empresas nacionais com as quais se manteve contacto no decorrer das entrevistas e inquéritos efectuados.

desenhos de fabrico e inicia-se a produção dos componentes dos porticados e dos SIPs num processo que pode demorar entre uma a duas semanas. O Arquitecto deve continuar com o projecto de execução, contemplando a definição das janelas, das portas, dos revestimentos de acabamento e do planeamento da obra. O empreiteiro no local começa a obra preparando as fundações de modo a que, finalizadas estas, a estrutura de madeira possa começar a ser montada (San Juan Timber Frames, 2015).

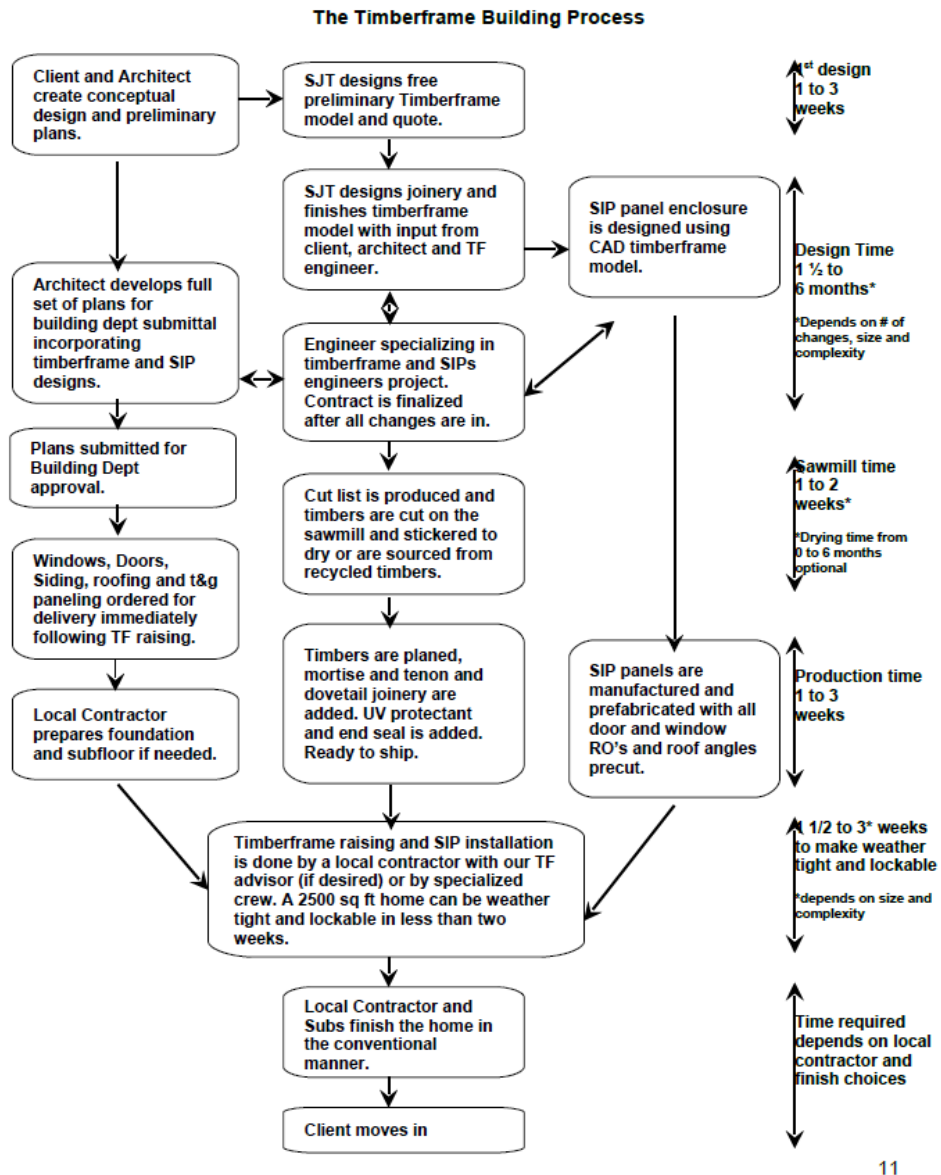
Do ponto de vista da fábrica de painéis SIP, esta recebe os desenhos de Arquitectura, com as contribuições da Engenharia, sendo esta informação utilizada para produzir os desenhos de fabrico que são submetidos à aprovação do cliente (numa fase que é considerada crítica para verificar a compatibilidade do desenho formal com o desenho construtivo) antes de começar a ser efectuada a produção. O processo desenhado a ser entregue inicialmente à fábrica deve conter as dimensões espaciais em planta, corte e alçado, as aberturas em tosco dos vãos (larguras e alturas), a definição das fundações e as exigências e cálculos estruturais, se disponíveis (INSULPAN, 2015).

No processo de encomenda devem ser tidos em conta as condicionantes do local e os acessos uma vez que os painéis são entregues em veículos de 48' (14,63m) com 13'-6" (4,15m) de altura, podendo haver necessidade de transferência da carga para veículos de menor dimensão em determinados pontos do acesso. A descarga do equipamento e o espaço de armazenagem devem ser previstos com antecedência porque as companhias de transporte normalmente cobram taxas adicionais quando esta demora mais de duas horas. O peso de um painel de 4'x8' é de cerca de 200 libras (90,72Kg) e um painel de 8'x24' cerca de 800 libras (362,87Kg), devendo prever-se para a descarga uma equipa de 4 a 5 homens<sup>227</sup> (INSULPAN, 2015).

Pode-se conseguir uma substancial redução dos resíduos em obra (e em fábrica) desde que o planeamento seja realizado coordenando a estrutura com o desenho dos painéis. A coordenação da geometria do projecto com as dimensões dos painéis deve ser realizada de modo a que a localização dos painéis se distribua segundo uma grelha de 4', 8', ou 12'. As dimensões da geometria devem ser acertadas nos cantos do perímetro de modo a haver uma sobreposição dos painéis. O processo de construção pode ser simplificado se houver também uma conjugação entre a localização e abertura dos vãos e a distribuição das juntas dos painéis. (INSULPAN, 2015).

Algumas empresas executam os componentes de porticados tradicionais, incluindo as juntas de encaixe recorrendo a processos CNC permitindo reduzir os custos uma vez que estes passam a ser contabilizados pela quantidade de madeira (*board foot*) e não pela complexidade do tipo de juntas. A proposta de preço preliminar pode assim ser fornecida com base no volume de madeira. Se o cliente decidir avançar com base na estimativa de custo, deverá fazer um depósito inicial de 5%, após o qual a empresa poderá começar a trabalhar (San Juan Timber Frames, 2015). Uma estimativa de custo mais completa, deverá incluir: os volumes de madeiras (maciça, Glulam ou LVL) categorizados por classe e secção, as áreas de componentes em placa e painel, categorizados por tipo e espessura, e os comprimentos das vigas primárias e secundárias, categorizadas por classe e secção (TRADA; IStructE, 2007).

<sup>227</sup> Deve ser também previsto um conjunto de auxiliares de descarga (grua, andaimes, escadas) e elementos de madeira para suporte dos painéis e coberturas para protecção do clima. Os acessórios e instrumentos específicos a utilizar na montagem consistem em cortadores de espuma, serras, parafusos e selantes. Os painéis devem ser protegidos da humidade durante a armazenagem, sendo também necessário proteger especialmente os painéis montados na cobertura para que estejam secos na altura da montagem do revestimento de acabamento final (INSULPAN, 2015).



11

Fig. 264 - O processo de projecto, fabrico e construção da empresa San Juan Timber Frames (San Juan Timber Frames, 2015a).





Fig. 265 - Suncadia Timber Frame Home da empresa Precision Craft (PrecisionCraft, 2015).



Fig. 266 - Arizona timber frame home da empresa Precision Creaft (PrecisionCraft, 2015).



Fig. 267 - Modern Timber frame Home in Montana (PrecisionCraft, 2015).



Fig. 268 - Timber frame house da empresa SanJuan Timberwrights do Colorado (San Juan Timberwrights, 2015).

### 3.3 SISTEMA DE PAREDES PESADAS DE TOROS

*“Opinions about log homes are divided in three parts. People like them, don’t like them or don’t know what you are talking about. Most people belong to the last group, followed by those who don’t like them. The number of people who like log homes is very small, but they really like them”. (Sweet, 2011)*

Descreve-se neste capítulo o sistema construtivo de paredes pesadas de toros de madeira tendo em vista registar as condicionantes mais importantes para a definição do projecto de Arquitectura de habitações unifamiliares. O foco da descrição centra-se nos aspectos de maior relevância arquitectónica a ter em conta nas fases iniciais do projecto de Arquitectura. Os conteúdos específicos do cálculo estrutural, comportamento ao fogo, comportamento acústico e comportamento térmicos serão por isso abordados superficialmente e apenas numa perspectiva arquitectónica.

As principais fontes de informação utilizadas foram as seguintes:

“Documento de homologação - Rusticasa sistema de construção industrializada DH 915. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil” (LNEC, 2012)

“Construction manual - Honka” (Honka, 2015)

“Systems in timber engineering” (Kolb, 2008)

“Technologies de construction bois” (Bignon & Critt-Crai, 2003)

“Construction de maisons à ossature bois” (Benoit & Paradis, 2008)

“The architect’s studio companion” (Allen & Iano, 2002)

“Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5” (TRADA; IStructE, 2007)

#### 3.3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM TOROS

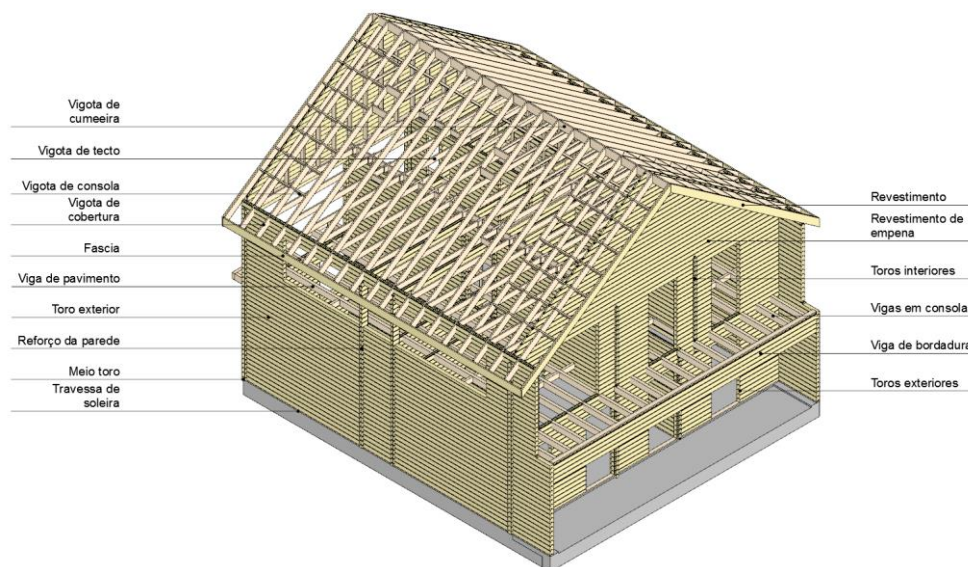


Fig. 269 - Sistema de paredes de toros aplicado numa moradia de dois pisos e cobertura inclinada (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).

##### 3.3.1.1 DESCRIÇÃO GERAL - TOROS

O sistema de paredes pesadas de toros de madeira é composto por toros dispostos horizontalmente e sobrepostos de modo a formar paredes portantes, acumulando as funções

## ***Honka Look Outdoors...***

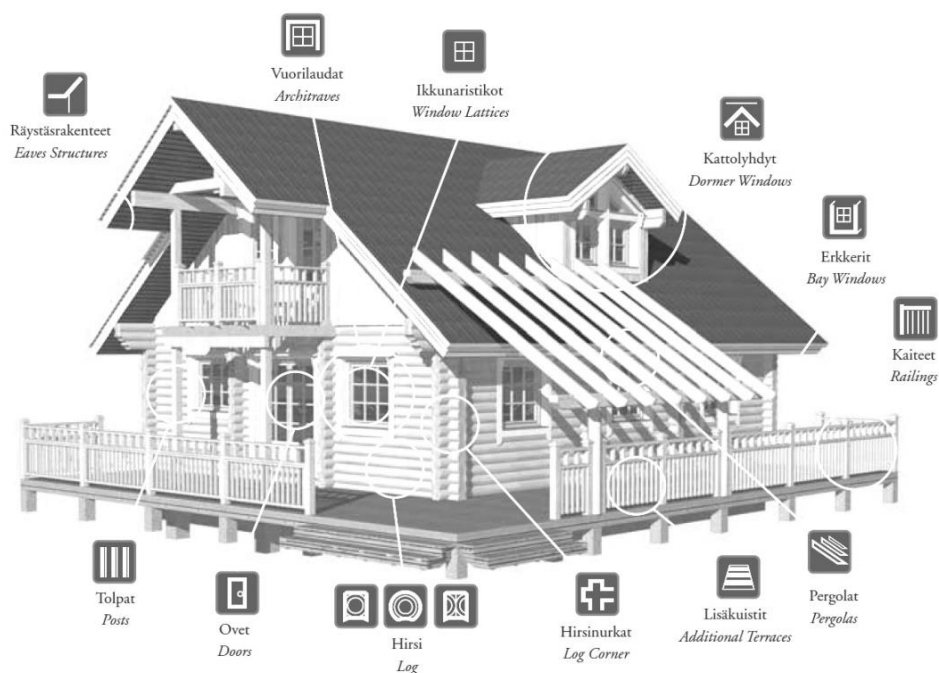


Fig. 270 - Esquema comercial de uma casa de toros de madeira com a indicação dos factores que condicionam o aspecto e o preço (Honka, 2015).

de envoltório, de compartimentação e de estrutura. Na intersecção dos planos de parede formados pela sobreposição dos toros, são executadas ligações de canto através de entalhes e encaixe. Os pavimentos e a cobertura são normalmente compostos por componentes lineares de madeira maciça ou derivados de madeira, podendo integrar toros ou componentes e sistemas independentes do sistema de toros. A identidade do sistema é dada pela aparência exterior dos toros em madeira à vista e pelas ligações de canto<sup>228</sup>. No interior, tradicionalmente optava-se também por manter os toros à vista, no entanto as exigências térmicas actuais têm levado à generalização de opções que contemplam o isolamento e o revestimento interior com outros materiais, nomeadamente os painéis de gesso cartonado (LNEC, 2012). As espécies de madeira utilizadas são sempre as resinosas, dominando em Portugal o Pinho Silvestre (também designado como Casquinha - *Pinus sylvestris*).

Os edifícios com toros de madeira são associados principalmente a construções residenciais, ou a outros equipamentos de apoio devido às limitações que impõe em relação à dimensão e ao número de pisos. Outras tipologias como igrejas e palácios surgem historicamente nas regiões de proveniência, porque correspondiam à técnica construtiva dominante. Normalmente os sistemas de toros remetem-se para uma perspectiva arquitectónica mais tradicionalista embora admitam soluções contemporâneas interessantes e inovadoras.

Historicamente este sistema surge em zonas de climas frios ou montanhosos geralmente na proximidade de florestas de coníferas (Escandinávia, Rússia, Alpes, América do Norte). Este factor cultural pode limitar o âmbito de aplicação desta solução em novos contextos. Kolb por exemplo é crítico em relação à utilização dos sistemas de toros em regiões que não têm uma afinidade cultural com este tipo de construção:

*“(...) log structures that are erected where log construction is not one of the traditional forms do not correspond with our view of contemporary building. Nevertheless, this happens again and again. Furthermore, these “alien”*

<sup>228</sup> A História demonstra no entanto que muitas habitações com paredes de toros eram sujeitas na altura da construção ou mais tarde a um revestimento adicional com um acabamento de régua de madeira.

*structures are usually planned and built without observing the rules of log construction based on centuries of experience. Traditional log construction belongs to the particular environment, i.e. in mountainous regions, and it requires specialists who are in the position of being able to design and erect such buildings properly.” (Kolb, 2008, p. 51)*

O sistema de paredes pesadas de toros para além das vantagens ambientais apresenta um conjunto de aspectos positivos, mas também alguns desafios que se podem resumir nos seguintes aspectos:

1. O sistema faculta um processo de construção moderadamente rápido.
2. O sistema consiste numa técnica de construção que exige conhecimento especializado.
3. O sistema deve ser pensado em projecto, sendo normalmente fornecido em *kit*, não devendo ser objecto de alterações em obra.
4. O sistema consome grandes quantidades de madeira, sendo exigente na sua qualidade visual e estrutural.
5. O assentamento e retracção da madeira são factores muito importantes que devem ser tidos em conta na concepção e execução dos detalhes.
6. A manutenção dos elementos estruturais é muito importante, devendo ser previsto um plano de manutenção e inspecção.
7. O sistema caracteriza-se pela sua singularidade arquitectónica, sendo especialmente apropriado para contextos específicos (campo, montanha, floresta).
8. O sistema normalmente não proporciona uma grande flexibilidade espacial da planta.
9. O sistema não proporciona uma grande flexibilidade na abertura de vãos na fachada.
10. O sistema conduz a soluções com uma moderada inércia térmica e se deixados os toros à vista no interior este contribuem para regular a humidade do ambiente interior.
11. O sistema exige atenção às pontes térmicas criadas entre os elementos estruturais do interior que se ligam às paredes exteriores.
12. O sistema não é normalmente o mais económico, sendo em alguns contextos considerado o mais caro (e.g. América do Norte).
13. Muitas empresas do sector em Portugal aplicam este sistema na habitação unifamiliar.

É por vezes difícil caracterizar genericamente um sistema porque as variantes podem ser muito diversificadas. Algumas vantagens que são geralmente apontadas ao sistema dependem da solução variante que for adoptada. Por exemplo, a inércia térmica, o conforto higrométrico e a renovação natural do ar através da estrutura apontada por diversos autores (Benoit & Paradis, 2008), que chegam a referir (Bignon & Critt-Crai, 2003) especificamente que a construção com toros pela sua massa e pelas características hidrotérmicas permite uma boa resposta às condições de Verão, só poderão ser consideradas nos casos em que não é instalado isolamento térmico adicional e em alguns contextos climáticos.

As paredes de toros exteriores por serem portantes condicionam a composição arquitectónica e a dimensão dos vãos, não sendo uma solução adequada para soluções com janelas e aberturas na fachada de grandes dimensões. Se for adoptada a solução de compartimentação também em toros, a rigidez espacial da compartimentação é uma das



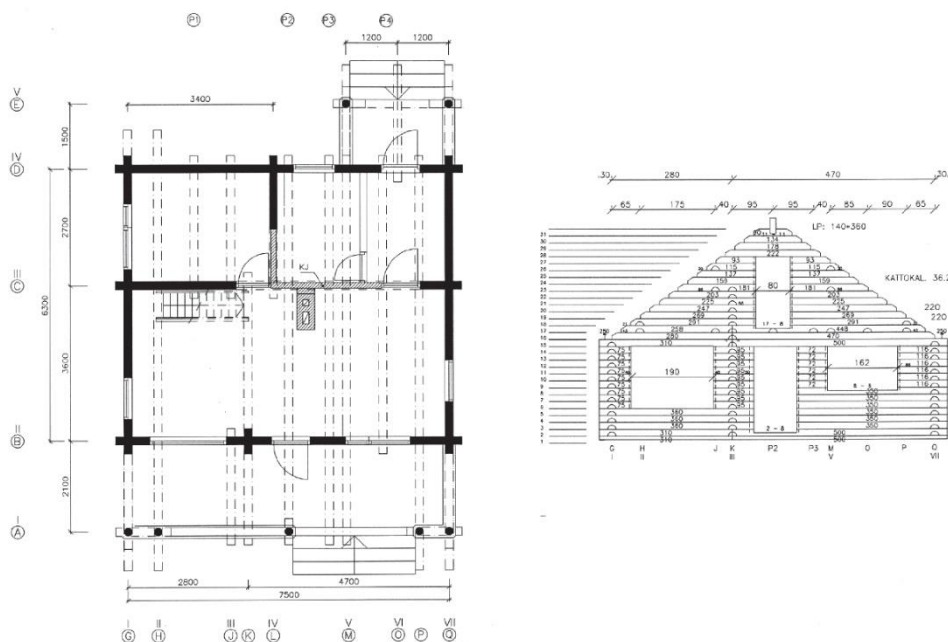


Fig. 271 - Desenhos de montagem de paredes de toros no sistema Honka (Honka, 2015).

condicionantes a ter em conta na definição do projecto. A definição espacial que ficar definida inicialmente deve ter em conta que eventuais alterações futuras podem comprometer o comportamento estrutural.

Os sistemas de toros são menos exigentes em termos de cálculo que os porticados, admitindo soluções simples e acessíveis a qualquer construtor, embora sejam mais exigentes, quanto à execução, que os sistemas de reticulados leves porque a selecção das madeiras, a elaboração das juntas entre componentes e os detalhes que devem prever o assentamento da madeira não admitem margens de erro. Quando o objectivo seja construir uma habitação que responda às exigências regulamentares e de conforto e durabilidade contemporâneas e não simplesmente a construção de uma cabana de uso eventual, a solução em *Kit* fabricada por empresas especializadas é a mais racional. O autor do manual “Log homes made easy” observa:

*“I’ve heard of too many log home dreams shattered because enthusiasm overpowered common sense. (...) If you believe that you can build your log home for less than a tract-build conventional home of similar size and design, disaster is almost assured”.* (Cooper, 1993)

Do ponto de vista dos recursos, o sistema de toros é avaliado como um sistema consumidor de grande quantidade de madeira. Uma das justificações para a adopção deste sistema, assenta numa perspectiva regional e cultural, ou seja é natural e racional que este sistema seja adoptado em regiões com uma tradição vernacular de construção com toros, conjugada com vastos recursos florestais e com a experiência adquirida de empresas especializadas. Noutras regiões que não partilham dessas condições, a justificação residirá na sua estética singular, conjugada com a existência de condições climáticas similares àsquelas onde tradicionalmente esse tipo de construção ocorre (zonas de clima frio e de montanha).

Pode-se dizer que este é o sistema mais consumidor de madeira e que menos a transforma. É portanto o mais “puro” do ponto de vista da Arquitectura e da construção, no entanto é também o sistema que mais cuidados exige do ponto de vista do seu comportamento não só devido ao fenómeno de assentamento por retracção, mas também devido ao assentamento por compressão das fibras dos toros. Em termos de custos, no contexto Norte-americano

deverá ser um dos sistemas mais caros. A empresa Canadiana Tyee - Log & Timber (Timber, 2015) que lida com vários sistemas construtivos - o sistema de toros redondos, o sistema de porticados “*timber frame*” e um sistema misto de porticados de componentes de secção circular e paredes em reticulados - refere que como referência, o primeiro custará entre \$30/sf e \$65/sf, o segundo entre \$30/sf e \$50/sf e o terceiro entre \$20/sf e \$45/sf. A empresa Coyote Log homes (Coyote Log Homes, 2015) apresenta valores de referência de \$74/sf para os toros redondos e \$55 para o sistema de porticados “*timber frame*”. Cooper (Cooper, 1993) refere que os custos de uma casa de toros devem poder ser superiores entre 10 a 15% aos de uma casa corrente (no sistema de reticulados leves).

#### 3.3.1.2 GRELHA ESTRUTURAL - TOROS

Nos sistemas de paredes de toros horizontais as cargas actuam na perpendicular às fibras da madeira, o que do ponto de vista da estática corresponde a utilizar a madeira de uma forma “deficiente” (Peraza Sánchez, et al., 1995). A resistência à compressão na perpendicular às fibras é inferior em cerca de 20% a 25% em relação à resistência no sentido paralelo às fibras (Negrão & Faria, 2009). O cálculo estrutural e os ensaios de cada sistema são em geral assegurados pelas empresas fabricantes dos sistemas segundo a legislação e normas específicas em vigor (na Europa os Eurocódigos). Até recentemente a ETAG 012 fornecia as regras gerais para a aprovação dos *Kits* de toros com base nas exigências estruturais, incêndio, estanquidade, acústica, térmica e durabilidade.

Peraza Sánchez, et al. (1995) no manual “*Casas de madera - Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares*” referiam que a bibliografia sobre cálculo estrutural para o sistema de toros era escassa, utilizando-se normalmente secções de componentes sobredimensionadas que garantem a segurança do sistema. As orientações para cálculo e concepção têm como base a distância entre pontos fixos (de intersecção de paredes) e a espessura dos componentes. Quando for necessário criar um ponto fixo em planta que não coincida com uma intersecção podem-se criar pilares adossados ou paredes transversais que assegurem a resistência a esforços horizontais.

Uma referência útil a adoptar pelos projectistas ao nível do estudo prévio consiste em saber quais as distâncias máximas permitidas entre intersecções. No caso da Rusticasa, por exemplo, as **condicionantes dimensionais** são estabelecidas pela distância máxima entre intersecções que é de 4,00m para paredes com 80mm de espessura, 6,00m para paredes com 120mm e 8,00m para paredes com 160mm (LNEC, 2012).

#### 3.3.1.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS - TOROS

O sistema tradicional recorria aos toros cilíndricos que eram obtidos a partir da sua selecção na floresta e abatidos no Inverno (entre Fevereiro e Março), por ser este período com temperaturas mais baixas, e em que as árvores têm menos seiva, considerava-se que por esse motivo estariam mais protegidas do ataque de xilófagos. Por outro lado entendia-se que nessa estação a secagem se faria mais lentamente evitando-se fendas mais pronunciadas. Em alguns casos o toro depois de preparado era deixada a secar naturalmente durante um ano ou mais. Noutros casos a madeira era instalada na obra em verde, secando depois de construída durante o Verão, estando o assentamento quase completo no Inverno, altura em que se procedia à selagem das juntas (Peraza Sánchez, et al., 1995).

Actualmente a secagem dos toros em estufa pode demorar 18 dias, sendo um processo caro e complexo (Peraza Sánchez, et al., 1995). Os componentes fornecidos pela empresa Honka, por exemplo, são secos em estufa até níveis de humidade de  $15\pm 3\%$ , evitando-se deste modo a necessidade de protecção química. A tendência actual consiste também em substituir

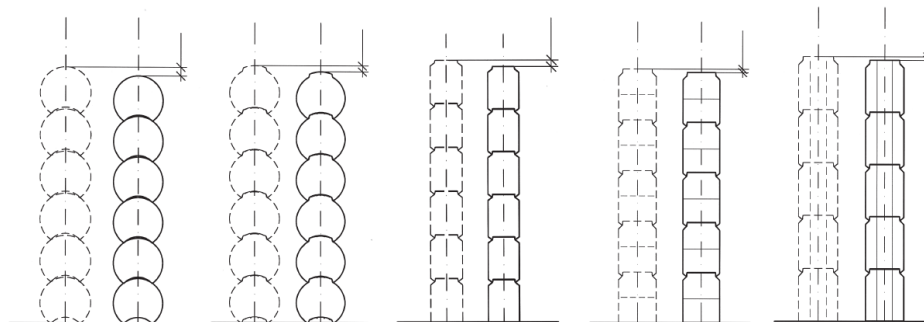


Fig. 272 - Assentamento nas paredes de toros a considerar nos detalhes das casas Honka. Toros redondos e rectangulares maciços 2" a 3" por 3'-3" de altura de parede e Toros lamelados 3/8" a 1-1/8" por 3'-3" de altura de parede (Honka, 2015).

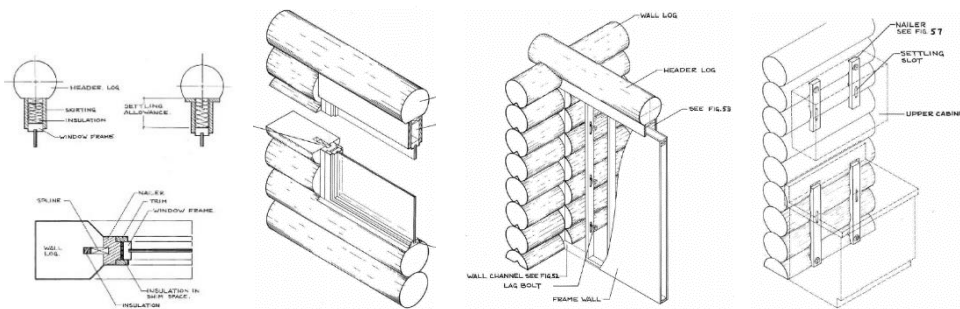
os toros cilíndricos e maciços pelos toros laminados com vantagens relativamente a diversos aspectos do seu comportamento (Honka, 2015). Os toros cilíndricos são no entanto uma solução que tem um mercado próprio relacionado os valores expressivos da sua rusticidade. A empresa Coyote Log Homes que oferece diversos sistemas construtivos apresenta o sistema de toros redondos de grande secção como a solução mais cara de todas. Neste caso, os toros são montados em verde, mas podem ser secos em estufa se o cliente pretender e estiver disponível para pagar um acréscimo de 45% aproximadamente em relação ao valor normal (Coyote Log Homes, 2015). Quando se utiliza o sistema de secagem tradicional ao ar, o processo é muito moroso, podendo durar cerca de três anos (Hakansson, 2003).

A escolha das dimensões dos toros estará dependentes de factores como a espécie de madeira, as definições espaciais (comprimento do toro e altura da construção) e do isolamento térmico pretendido. As exigências de resistência mecânica não são normalmente factores determinantes no dimensionamento, até porque geralmente os fabricantes oferecem gamas de produtos já testados. Segundo Bignon e Critt-Crai (2003), as dimensões correntes de toros serão nas secções circulares os diâmetros entre 150 a 250mm e nas secções rectangulares entre 60 a 250mm de espessura, altura de 155 a 225mm e comprimentos até 10,00m em madeira maciça e até 13,00m em madeira reconstituída. Peraza Sánchez et al. referem que os diâmetros habituais na secção circular variam entre 110cm e 230cm e que quando as fachadas são superiores a 5,00m podem realizar-se empalmes, sendo pouco frequente utilizar toros de maior longitude (Peraza Sánchez, et al., 1995).

Os sistemas de toros estão sujeitos a assentamentos cujos valores variam segundo a composição dos toros (cf. Figura 272). Em diferentes autores encontram-se diferentes valores para a dimensão do assentamento dos toros. Segundo Kolb o assentamento pode chegar a valores entre 15mm e 25mm por piso (Kolb, 2008, p. 50)<sup>229</sup>. Segundo Peraza Sánchez, et al., nos países nórdicos os assentamentos podem variar entre 10mm a 50mm por metro linear vertical em paredes exteriores e entre 10mm e 100mm em paredes interiores (1,5mm por tronco no interior e 0,75mm no exterior). A Honka (Honka, 2015) por seu lado, refere que o assentamento devido à secagem, num processo que pode durar entre um ano e dois anos, depende do tipo de toros utilizados. Assim, o assentamento típico em cada 1m pode ser entre 50mm a 76mm para toros redondos e rectangulares maciços, e entre 9,5mm a 28,5mm para toros rectangulares lamelados (Honka, 2015).

<sup>229</sup> Para Bignon e Critt-Crai o assentamento dos toros varia entre 2cm a 5cm por uma altura de 2,50m, dependendo do tipo de toros utilizado (Bignon & Critt-Crai, 2003).





O processo de assentamento ocorre principalmente durante o primeiro ano de construção, podendo as paredes interiores de toros assentar mais rapidamente se no interior a humidade ambiente for inferior ao exterior. Em países de clima temperado a situação pode inverter-se (Peraza Sanches, et al., 1995).

Em caso de necessidade, os toros podem funcionar como vigas, podendo ser formadas, no caso de vãos maiores, com um conjunto de 2 ou 3 toros unidos por parafusos. No caso de ser utilizada uma viga lamelada colada a sua intersecção nas paredes de toros devem contemplar uma margem de assentamento na parte superior da intersecção desta com os toros (Honka, 2015).

#### 3.3.1.4 FUNDAÇÕES - TOROS

<sup>230</sup> No caso de escadas sem cobertor de nível com o piso superior, a ligação deslizante pode ser no nível superior (Honka, 2015)

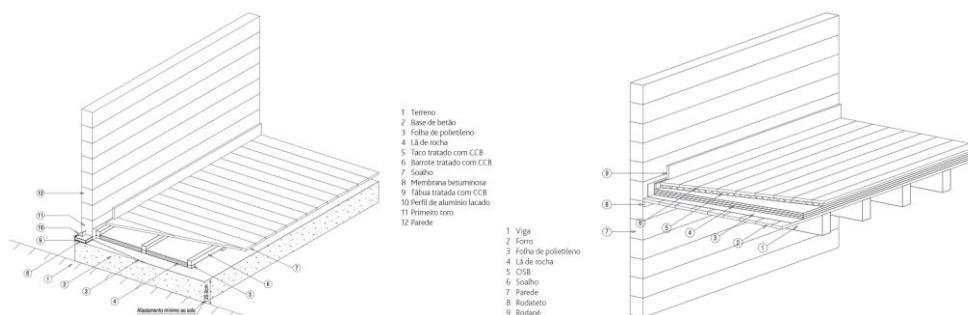


Fig. 274 - Pavimento térreo e pavimento elevado no sistema Rusticasa (LNEC, 2012).

As fundações das casas de toros têm algumas especificidades, em relação à construção normal, relacionadas com a composição das paredes, com o seu peso e com a pré-fabricação dos componentes. A largura da sapata e do murete de arranque normalmente são inferiores devido às menores cargas e devido à espessura inferior da parede de madeira (10 a 20cm). As tolerâncias dimensionais das fundações são mais exigentes uma vez que os componentes são normalmente entregues em obra pré-cortados, sendo necessária precisão especialmente ao nível dos encaixes de canto. A ligação da madeira à fundação deve contemplar exigências adicionais de ancoragem e de estanquidade (Peraza Sánchez, et al., 1995).

Na solução de laje sobre o terreno, esta deve ter uma base de gravilha com um mínimo de 15cm de espessura (recomenda-se 25cm a 30cm). Sobre a gravilha instala-se uma tela impermeabilizante de polietileno que recebe o betão (reforçado com uma malha de aço) com uma espessura mínima de 10cm (recomenda-se entre 15cm a 20cm). A cota da soleira deve ficar situada 15cm a 20cm (Peraza Sánchez, et al., 1995), 30cm (Honka, 2015), ou mesmo 45cm acima do nível do solo exterior (Cremer & Cremer, 2008).

### 3.3.1.5 PAVIMENTOS - TOROS

Os pavimentos podem ser realizados com sistemas ligeiros de madeira na linha dos sistemas reticulados leves ou com sistemas de vigas de maior secção na linha dos porticados, ou ainda utilizando os próprios toros como vigas (solução utilizada frequentemente em soluções de toros de secção circular). Os vãos que as paredes portantes suportam podem variar em geral entre os 3,00m e 6,00m, sendo a distância entre vigas normalmente 30cm, 40cm ou 60 cm. As vigas poderão ser ligadas às paredes através de entalhe nos toros ou mediante ferragens de suspensão (Peraza Sánchez, et al., 1995) ou ainda por uma ligação mista de entalhe e ferragem.

Segundo a Honka, quando se pretende um acabamento para o tecto integrando isolamento, deve-se colocar uma estrutura de sarrafos que permita a ventilação sob a camada de isolamento térmico que é colocada entre as vigas. Sobre as vigas é colocado o revestimento de acabamento estrutural, se for esta a opção de pavimento (Honka, 2015). A utilização de vigas de toros só se justificará se estas puderem ficar à vista ou se de algum modo for demonstrada uma economia devido ao processo de fornecimento dos componentes.

Em Portugal a solução mais comum de pavimento térreo será a da laje de betão. Esta é a solução preconizada no documento de homologação do sistema de toros da Rusticasa (LNEC, 2012) onde se prevê uma camada de betão sobre a qual é montada uma tela de polietileno (barreira anti-humidade), instalando-se depois barrotes de madeira maciça de 50mmx50mm tratados sobre tacos de madeira tratada em profundidade com CCB com 25mm de espessura (cf. Figura 274). Entre os barrotes é colocada uma camada de placas de lã de rocha semi-rígida com 40mm de espessura. Finalmente é aplicado o revestimento de

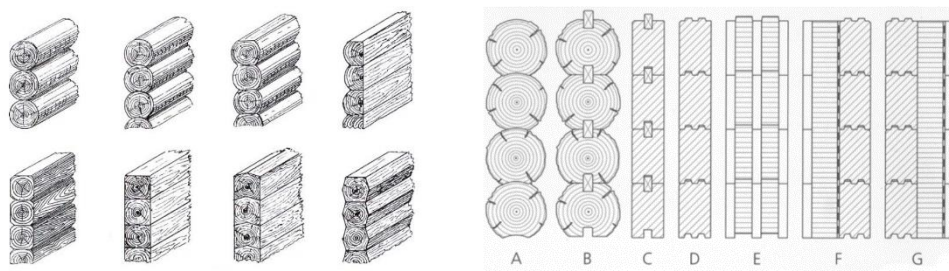


Fig. 275 - Formas básicas de toros (Lewis, 2015) e composições de parede (Kolb, 2008) .

acabamento com 22mm de espessura (LNEC, 2012). O afastamento apontado para a diferença de nível entre a cota de soleira do pavimento térreo e o nível do terreno exterior é aqui de 20cm (LNEC, 2012).

Quando se recorre a pavimentos elevados estes serão, segundo o mesmo documento (LNEC, 2012) constituídos por vigas de madeira lamelada de Casquinha (GL24) com secções 100x160mm apoiados directamente nas paredes através de entalhes. Sobre as vigas aplica-se um forro de Casquinha com 20mm de espessura e encaixe macho-fêmea, coberto com uma tela de polietileno (com a função de barreira contra a humidade), três camadas de isolamento de lã de rocha rígida com 1,5 cm cada, uma placa de OSB com 22mm de espessura e encaixe macho-fêmea. Sobre as placas de OSB é depois aplicado o acabamento final(cf. Figura 274). A ligação do pavimento às paredes de toros é realizada com entalhes com secção transversal em “v” (LNEC, 2012). Os vãos máximos variam em função das distâncias entre eixos das vigas de pavimento: para 3,50m de vão para 0,50m de afastamento, 3,30m para 0,60m de afastamento e 2,90m para 0,70m de afastamento (LNEC, 2012).

As varandas seguem a mesma lógica dos pavimentos em termos estruturais, sendo a face superior das vigas protegidas adicionalmente com uma tela betuminosa e as tábuas de pavimento tratadas para a classe de risco 4 (LNEC, 2012). As aberturas no pavimento elevado são delimitadas por vigas de madeira com secções de 100mmx160mm ou 160mmx240mm, às quais se apoiam as vigas de pavimento através de entalhes (LNEC, 2012). As consolas são executadas através do prolongamento das vigas para o exterior, cortando os toros da parede nos pontos de intersecção (Peraza Sánchez, et al., 1995).

Os processos de pré-dimensionamento da estrutura dos pavimentos de pisos elevados utilizando vigas ligeiras ou pesadas devem seguir as referências similares às descritas para os sistemas reticulados leves e porticados pesados.

#### 3.3.1.6 PAREDES - TOROS

As características das paredes dependem do tipo de componentes adoptados variando em função da forma, das juntas, do material e da sua constituição. Os toros podem adoptar diversas formas: redondos, corte plano em três faces, corte plano em quatro faces, e variações com arestas vivas ou sotadas e outras menos comuns como o perfil hexagonal e os perfis com arestas sotadas (cf. Figura 275). O tipo de sobreposição entre toros sucessivos admite variantes em função do grau de elaboração da junta (por simples contacto, com ranhuras e “splines” e com encaixes macho fêmea).

As juntas de canto podem ser salientes ou à face, e os tipos de encaixe são muito diversos (sela simples, “*unscribed saddle*”, cauda de andorinha, “*butt and pass*” (topo e saliência) e com postes intermédios (tipo “Red river frame”), recorrendo-se normalmente ao duplo entalhe em cada toro (cf. Figuras 276 e 277). A composição material do toro varia entre a madeira



Fig. 276 - Tipos de ligação nos cantos das paredes (Kuusamo Log Houses, 2015). Toro laminado de 230mm com junta a meia esquadria e remate; toro laminado de 88mm com parede dupla isolada; toro laminado de secção rectangular com 230mm, toro maciço de secção circular com 230mm e toros laminados com juntas à face cobertas com remate.

maciça, os lamelados e os toros compostos. Finalmente a constituição da parede pode ser simples ou integrando camadas de isolamento térmico e revestimentos de acabamento na face interior.

Os tipos de juntas de canto mais comuns podem classificar-se em (Hakansson, 2003) (Cooper, 1993): junta simples com entalhe simples na face superior de cada toro; junta dupla, utilizada principalmente em toros serrados nos dois lados; junta em cauda de andorinha à vista, utilizada com os toros serrados e sem saliências<sup>231</sup>; junta complexa tipo “Dalarna”, com extensões hexagonais; junta a topo com apenas uma projecção<sup>232</sup>; com poste de canto; e outras juntas complexas. No entanto com a evolução do conceito de casa de toros, outro tipo de juntas menos convencionais têm surgido. Por exemplo, a empresa Kuusamo (Kuusamo Log Houses, 2015), apresenta alternativas de juntas de topo e a meia esquadria, protegidas pelo exterior com peças de remate (cf. Figura 276).

A madeira maciça é utilizada normalmente com os toros redondos, quando se pretende uma Arquitectura numa linha tradicional que admite as fendas na madeira como um processo generalizado decorrente do próprio sistema. Actualmente os toros mais comuns são produzidos em madeira lamelada colada com secção rectangular e ranhuras e ressaltos de encaixe. Uma tendência que se instalou decorrente das exigências de conforto térmico estabelecidas pela revisão dos regulamentos consiste na integração de uma camada de isolamento térmico pelo interior ou pela utilização de toros compostos integram uma camada de isolamento que pode estar situada entre duas camadas de madeira ou apenas numa das faces (Bignon & Critt-Crai, 2003). O isolamento térmico das paredes pode ser reforçado, instalando uma camada de isolante sobre uma estrutura de sarrafos afastados de 400mm ou 600mm. Esta estrutura deve ter um sarrafo de soleira e deve ser ligada aos toros com perfis angulares deslizantes que permitam o assentamento da parede exterior. O isolamento é colocado nos vazios sendo coberto com uma barreira de vapor. (Peraza Sánchez, et al., 1995). Os toros expostos deverão apresentar uma durabilidade natural ou deve ser conferida uma durabilidade correspondente à classe de risco 3 (Bignon & Critt-Crai, 2003).

No caso da Rusticasa, utilizam-se normalmente toros de madeira lamelada colada com 160mm ou 120mm, sendo compostos com três ou quatro lamelas respectivamente e com secção rectangular. Os toros têm uma secção com entalhes que asseguram uma ligação mais efectiva entre toros adjacentes inferiores e superiores. Nos pontos de encaixe entre toros perpendiculares a ligação faz-se através de entalhe a meia madeira. No caso das ligações entre paredes interiores e paredes exteriores faz-se uma ligação de entalhe em

<sup>231</sup> Este tipo utilizou-se frequentemente na Suécia durante o século XIX e estava associado à prática do revestimento das paredes com réguas de madeira depois do assentamento da casa estar completo (Hakansson, 2003).

<sup>232</sup> Junta designada em Inglês por “butt and pass corner”. Neste caso os toros das duas fachadas concorrentes estão ao mesmo nível, sendo os toros normalmente ligados com um encaixe em cauda de andorinha.

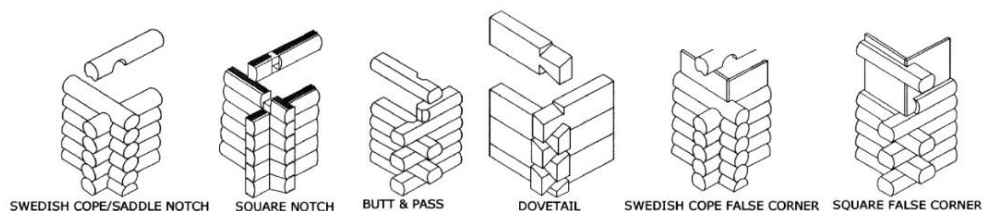


Fig. 277 - Vários tipos de juntas de canto segundo manual da empresa Norte Americana Avalon Log Homes (Avalon Log Homes, 2011).

cauda de andorinha (LNEC, 2012). Os toros podem ser empalmados quando têm mais de 8 metros, estando previstos, no caso da Rusticasa, emendas de topo por entalhes em cauda de andorinha, executadas em fábrica. No sistema Honka prevêem-se empalmes realizados em obra que consistem numa ligação efectuada através de uma junta com um troço de parede perpendicular aos toros a empalmar. Este empalme deve ser reforçado com uma placa de união aparafusada aos dois elementos (Honka, 2015).

Peraza Sánchez, et al (1995) recomendam que as paredes exteriores sobressaiam 15mm para o exterior da base de betão para permitir uma melhor drenagem da água. A primeira fiada de toros (numa das direcções é instalada com componentes divididos ao meio) devendo ser ancorada à base de betão, através de varões de chapas em L ou de parafusos com capacidade de regulação da altura, podendo assentar sobre uma tábua sujeita a tratamento. A ligação dos toros à base de betão no sistema Rusticasa é realizada mediante uma tábua de soleira de casquinha tratada com CCB sobre uma membrana betuminosa de 4mm de espessura. Utilizam-se cantoneiras metálicas aparafusadas ao primeiro toro e à base de betão, com espaçamentos entre si de 1,00m. Entre a placa de soleira e o primeiro toro é colocada uma pingadeira de alumínio (LNEC, 2012). Na Honka (2015), antes da aplicação do primeiro toro aplica-se uma tela de protecção impermeabilizante de polietileno.

As ligações verticais de toros sucessivos podem ser executadas com cavilhas de madeiras de espécies folhosas, ligando os toros dois a dois com uma disposição alternada, devendo penetrar até metade da altura do toro inferior. A função das cavilhas é a manutenção do alinhamento dos toros e a mitigação dos empenos que podem ser motivados por grão em espiral, lenho de compressão ou assentamentos das fundações. As furações para a inserção das cavilhas devem prever uma profundidade adicional para integrar o assentamento previsto (Hakansson, 2003). No sistema Honka os toros são fornecidos pré-furados em fábrica ligando-se preferencialmente estes entre si com as referidas cavilhas de madeira num processo que tem início após o segundo toro ser montado sendo ligados os toros dois a dois com espaçamentos alternados entre as sucessivas camadas. Cada cavilha ou parafuso não deve interferir com o toro superior pelo que deve ser afundado em cada toro cerca de 5cm (Honka, 2015).

Para casas com uma superfície superior a 200m<sup>2</sup>, Bignon e Critt-Crai (2003), consideram que são aconselhadas ligações suplementares. Muitos sistemas contemplam parafusos tensores nas juntas para acelerar o processo de assentamento e também para regular e nivelar as cotas da construção que podem sofrer desvios e desequilíbrios. Estes parafusos são reguláveis e ligam as várias fiadas de troncos (ou pelo menos a partir do segundo toro até ao último), devendo estar acessíveis pelo menos numa das extremidades para permitir um controlo regular da tensão. O objectivo destes parafusos, instalados depois de concluídas as paredes (Honka, 2015) consiste em controlar o assentamento, melhorar a estanquicidade e ao mesmo tempo aumentar a rigidez da fachada (Bignon & Critt-Crai, 2003). Peraza Sánchez, et al. (1995) referem que os apertos devem ser verificados a cada duas semanas durante o

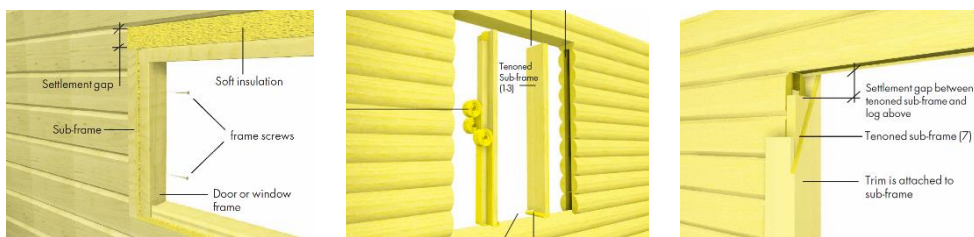


Fig. 278 - Pormenores de instalação de um vão de janela. Lintel, pré-aros e guarnições (Honka, 2015).

processo de secagem da madeira (que decorre normalmente durante o primeiro ano após a construção) (Peraza Sánchez, et al., 1995).

Na Rusticasa a ligação entre toros é reforçada nos cantos com parafusos auto-roscentes unindo o toro superior aos dois anteriores. Nas aberturas de vãos de paredes, efectua-se também um reforço por aparafusamento de cada toro superior com o inferior. Para vãos superiores a 1,3m os toros superiores devem também ser aparafusados (LNEC, 2012). Para prevenir um maior assentamento, durante a montagem das paredes, entre cada 4 a 5 filas de toros deve compactar-se a parede através de maço de borracha (Honka, 2015). Se as zonas das empenas triangulares sob a cobertura forem construídas com toros, cada topo de toro deve ser aparafusado ao anterior na extremidade (Honka, 2015).

Utilizam-se selantes para assegurar a estanquidade ao ar e garantir o isolamento térmico, recorrendo-se a por exemplo a feltros betuminosos e fibras minerais que devem poder adaptar-se à compressão a que serão sujeitos. Os selantes colocam-se tanto nas juntas horizontais ao longo do toro como nas juntas de canto (Peraza Sánchez, et al., 1995). No sistema Rusticasa, para a redução da permeabilidade ao ar através das juntas entre toros é introduzida nos espaços vazios uma fita vedante de fibras de linho (LNEC, 2012). Nas ligações dos toros do sistema Honka coloca-se uma fita de selagem que cobre a junta e se prolonga um pouco sendo agrafada de ambos os lados. A fita de selagem deve ser colocada ao longo de todo o toro, parando antes das extremidades finais exteriores. Também os furos de ligação dos cantos devem ser preenchidos com selantes (Honka, 2015).

A altura dos vãos de janelas deve ser ajustada de modo a coincidir com a face inferior dos toros de uma das fachadas. Em fachadas concorrentes essa altura coincidirá com o meio de um toro. Os vãos são cortados em fábrica, sendo as situações de meia altura normalmente sujeitas a um pré-corte que é completado em obra. Nas faces laterais dos vãos, cujos topos devem ser impermeabilizados, é aberta uma calha que recebe um pré-aro com secção em T ou em U (Bignon & Critt-Crai, 2003) devendo ser deixada uma junta entre o seu término e o toro de lintel que contemple o assentamento previsível. Este espaço deve prever o assentamento que ocorrerá, devendo ter cerca de 20mm por cada metro de altura do pré-aro (Peraza Sánchez, et al., 1995), ou 110 e 130mm segundo a Honka (2015), devendo esse espaço ser preenchido com isolamento térmico. Normalmente estas ranhuras nos toros são realizadas em obra, sendo o pré-aro aparafusado apenas na sua parte inferior, podendo aplicar-se uma ligação deslizante na parte superior. Qualquer corte adicional para acomodar estas juntas deve ser executado depois dos toros estarem montados (Honka, 2015).

Mais do que noutros sistemas, os pormenores dos vãos são objecto de especial cuidado (cf. Figura 278). Recomenda-se que nos pormenores dos vãos, se deixe um espaço e cerca de 1,6cm livres entre o pré-aro e o aro dos vãos onde serão colocados calços e selante. Quanto às aduelas deve-se garantir que são aparafusadas somente à guarnição e não ao aro. Recomenda-se também que se agrafe, entre as extremidades dos toros nas ombreiras dos



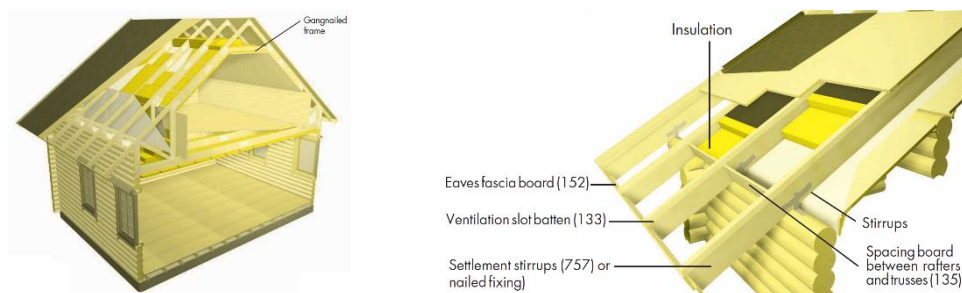


Fig. 279 - Solução com sistema de vigotas leves e ligações com a parede (Honka, 2015).

vãos, uma camada dupla de selante porque há a tendência para haver assentamentos superiores nestes pontos, mesmo em vãos interiores (Honka, 2015).

As paredes interiores, para além dos componentes de toros (ligados às paredes exteriores através de junta completa ou encaixe em cauda andorinha), podem ser construídas com componentes de reticulados leves, com montantes afastados 600mm entre si. Estas paredes podem ser revestidas com painéis de gesso ou com réguas de madeira. A união das paredes ao tecto deve permitir o assentamento deste uma vez que estará solidário com as paredes de toros. O pormenor da ligação pode consistir em varões fixados ao tecto e ligados à travessa superior do reticulado apenas por furação. O topo da travessa deve estar afastado do tecto pelo menos a dimensão de assentamento previsível, podendo colocar-se peças de remate da junta fixadas apenas no tecto que ocultam esse espaço que deve ser preenchido com lã mineral (Peraza Sánchez, et al., 1995). A ligação destas paredes interiores às paredes exteriores pode ser efectuada com um aparafusamento deslizante que absorva o assentamento, prevendo-se réguas de remate que cubram a junta aberta que será preenchida com isolamento. Para o caso das compartimentações interiores em toros (que devem ser montadas em simultâneo com as exteriores), a ligação pode intersectar a parede exterior ou ligar-se a ela através de ranhura, utilizando-se normalmente uma ligação em cauda de andorinha no caso de toros de reduzida espessura (Honka, 2015). Quando as paredes interiores (que na Rusticasa têm 8cm de espessura) têm um dos topos livres devem ser solidarizadas, por exemplo recorrendo a uma barra de aço vertical (LNEC, 2012).

As fendas decorrentes da secagem normalmente não se desenvolvem em mais de metade da secção dos toros. (Peraza Sánchez, et al., 1995). O manual de construção da Honka refere que as fendas devidas às tensões produzidas nos toros durante o processo de secagem, depois da obra concluída, são inevitáveis sublinhando no entanto que depois da secagem do interior se dá um sensível fechamento das fendas anteriormente abertas (Honka, 2015).

### 3.3.1.7 COBERTURA - TOROS

O sistema de toros admite todos os sistemas de cobertura em madeira previstos para os outros sistemas: 1) vigas simples ligeiras (como nos sistemas reticulados); 2) caibros sobre vigas longitudinais; 3) asnas ligeiras; e 4) dois níveis estruturais com vigas longitudinais sobre pórticos paralelos. O sistema de toros contempla ainda o caso especial em que os componentes das vigas de cobertura são em toros maciços. Em qualquer dos casos, será importante montar a cobertura imediatamente após as paredes para que o seu peso dê início ao processo de assentamento através da compressão e da secagem dos toros (Hakansson, 2003).

Com os sistemas de coberturas pesadas pode-se retirar um partido estético das vigas, reforçando-se o seu efeito com a instalação de um *deck* estrutural de réguas macho-fêmea (por exemplo com secções de 2"x6") sobre o qual se pode montar uma camada de isolamento



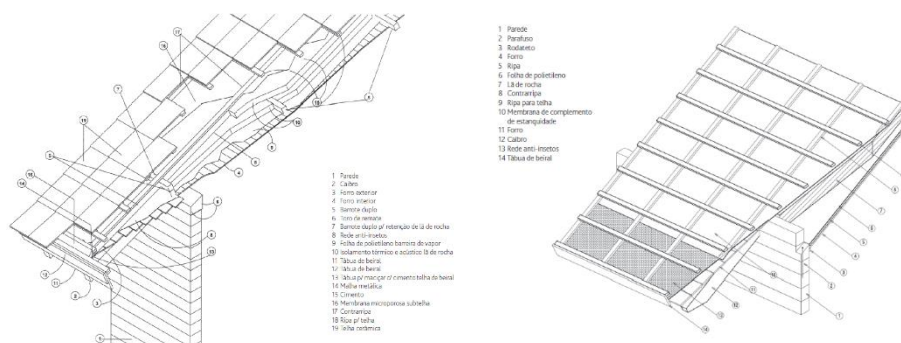


Fig. 280 - Soluções de cobertura da Rusticasa (LNEC, 2012): Solução de vigamento à vista ou duplo e vigamento oculto ou simples.

térmico, revestido com uma placa estrutural que depois recebe o acabamento final (Cooper, 1993). Os sistemas de “cobertura quente” contemplam em geral os seguintes elementos (do interior para o exterior): revestimento interior, estruturas de suporte do revestimento, barreira de vapor de 200mm, isolamento térmico, barreira respirante, caixa-de-ar (com um mínimo de 50mm), revestimento com placa estrutural, e barreira impermeável respirante e acabamento final. O revestimento interior geralmente é realizado com um painel que segue a estética do sistema, recorrendo a perfis macho-fêmea (Peraza Sánchez, et al., 1995) que replicam o efeito do *deck* estrutural. A Honka refere que é de vital importância prever um espaço de ventilação sobre o isolamento da cobertura. Normalmente é prevista a ventilação com entrada de ar a partir dos beirados até à cumeeira e daí até às empenas ou até ventiladores mecânicos (ao nível da cumeeira) (Honka, 2015).

No sistema Rusticasa opta-se em geral pelo sistema de cobertura inclinada, com isolamento entre a estrutura, de caibros sobre vigas longitudinais que apoiam nas empenas portantes com toros escadeados. Os caibros apoiam na cumeeira, nas vigas intermédias longitudinais, e nas paredes, sendo as ligações efectuadas com chapas de aço (entre caibros ao nível da cumeeira) e com parafusos (entre caibros e vigas longitudinais). O apoio dos caibros nas paredes é efectuado através de entalhe reforçado com uma cinta metálica zincada a quente, devendo os toros entalhados ser solidarizados com os dois toros inferiores (LNEC, 2012). As vigas de cumeeira e longitudinais e os caibros projectam-se para o exterior formando um beirado em consola (LNEC, 2012). Esta solução geral contempla duas variantes: com vigamento oculto e com vigamento à vista (LNEC, 2012).

Peraza Sánchez, et al. (1995) referem que normalmente as vigas estão separadas 400mm ou 600mm sendo as vigas fixadas às paredes através de ligadores metálicos deslizantes de modo a que absorvam as deformações originadas pelos assentamentos. Cada empresa tem tendência a desenvolver práticas próprias, adoptando soluções com as quais ganharam experiência. Por exemplo, no sistema Honka, as vigas da estrutura da cobertura normalmente têm um espaçamento entre 60 e 90cm (Honka, 2015) e no sistema Rusticasa 50cm.

No sistema Rusticasa, na variante com vigamento oculto, utilizam-se caibros de madeira maciça de Casquinha (Classe C24) com secção de 75mmx200mm espaçados 0,50mm. Os caibros apoiam sobre uma viga de cumeeira ou vigas adicionais com cerca de 160mmx240mm (dependendo das acções consideradas). Entre os caibros instalam-se duas camadas de lã de rocha de 80mm de espessura cada, sobre eles coloca-se uma membrana estanque, e um ripado e contra ripado (25x40mm) para receber o revestimento final de acabamento. Sob os caibros é aplicada uma folha de polietileno (barreira pára-vapor), um ripado separador e um forro de Casquinha ou Espruce com 20mm de espessura (LNEC,

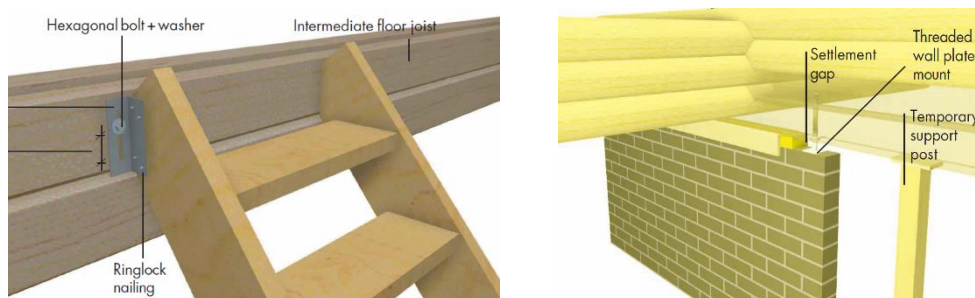


Fig. 281 - Soluções de juntas entre escadas e o piso superior e entre paredes de toros e paredes de alvenaria (Honka, 2015).

2012). Na variante do vigamento à vista prevê-se uma estrutura de caibros de madeira lamelada de Casquinha (GL24h) com secção de 100x160mm espaçados 0,50m, apoiados em vigas de cumeeira ou outras de madeira lamelada de Casquinha (GL24h) com secção de 160mmx240mm. Sobre os caibros aplica-se um forro de Casquinha ou Espruce com 20mm de espessura, seguido de uma tela de polietileno (barreira pára vapor). Sobre a tela são montados barrotes de Casquinha com 50mmx80mm de secção, perpendiculares aos barrotes e espaçados 1,15m, sendo os espaços entre barrotes preenchidos com uma camada de lã de rocha com 80mm de espessura. Sobre estes é montada uma segunda fiada de barrotes com a mesma secção (50mmx80mm) mas espaçados 0,50m entre eixos e na direcção perpendicular à anterior, sendo os espaços também preenchidos com uma camada de lã de rocha com 80mm de espessura. Sobre estes barrotes é aplicada uma tela estanque, sobre a qual é montado um contra ripado e um ripado de Casquinha (25x40mm) para aplicação do acabamento final com telhas de cobertura (LNEC, 2012).

Quando a estrutura da cobertura não é suportada por vigas pesadas ou vigotas, utilizam-se por exemplo asnas. Com a utilização de asnas, a solução da zona de empena triangular acima da linha de beirado é realizada geralmente com uma estrutura ligeira e não em toros para evitar assentamentos diferenciais mais complexos (Honka, 2015). Se as vigas de cobertura (caibros) que se projectam para o exterior estiverem apoiadas sobre as paredes será necessário fechar os espaços abertos, deixando-se nessa zona um entradas de ar para ventilação de pelo menos 20mm (com rede anti insectos) (Peraza Sánchez, et al., 1995).

### 3.3.1.8 OUTROS DETALHES - TOROS

Os detalhes das juntas entre elementos de construção devem ser elaborados com o objectivo de garantir a estanquidade à água da chuva, especialmente nos seguintes pontos: entalhes no encaixe entre toros sucessivos, canais de drenagem vertical na ligação de canto entre paredes, pingadeira no primeiro toro da base da parede, e execução de beirados salientes que protegem os paramentos exteriores (LNEC, 2012).

O detalhe dos vãos deve, nomeadamente no peitoril deve permitir a expulsão da água da chuva (LNEC, 2012) para o exterior sem escorrimento sobre a superfície da parede. Os vazios dos vãos devem ser maiores na largura (cerca de 40mm) e na altura (cerca de 60mm) que o aro das portas e das janelas. O aro dos vãos é fixado ao pré aro instalado nas ranhuras abertas nas paredes de toros. As guarnições (tapa-juntas) devem ser ligados aos pré aros e aos aros das janelas e portas e nunca aos toros. Na zona dos lintéis exteriores deve ser colocado um perfil de remate espaçado da guarnição de modo a evitar a entrada de água uma vez que a junta é aberta (Peraza Sánchez, et al., 1995).

As intersecções de paredes de toros com elementos de alvenaria como chaminés e paredes, devem ser concebidos com dispositivos que prevejam o assentamento da madeira. Para este

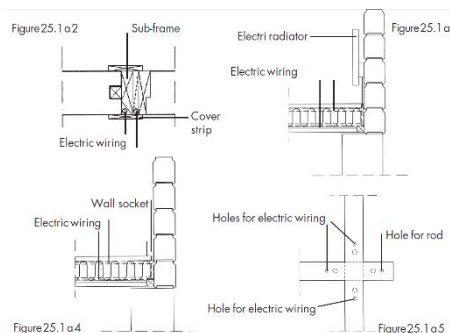
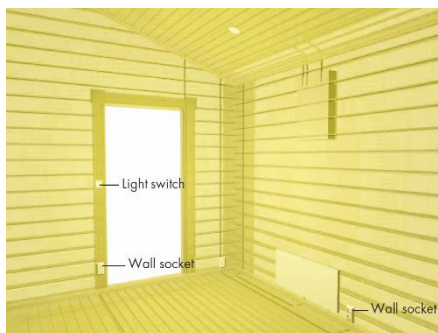


Fig. 282 - Soluções para infraestruturas (Honka, 2015).

efeito utilizam-se parafusos reguladores e ancoragens deslizantes e detalhes de molduras, remates e régua intermediária (Peraza Sánchez, et al., 1995). Quando houver estruturas de cobertura ou de parede que assentem em paredes de alvenaria devem ser utilizadas chapas metálica com parafusos reguláveis para permitir regular o assentamento (cf. Figura 281). Deve ser prevista uma junta preenchida com material flexível que deve ser coberta com uma régua de remate ligada apenas à estrutura da parede de madeira ou da cobertura. (Honka, 2015). A ligação de paredes de toros com paredes de alvenaria deve ser efectuada através de um pré aro (por exemplo com um perfil em T) que se insere nos toros estando este apenas solidário com a parede de alvenaria, ligando-se a eles com um sistema semelhante à instalação das janelas. Neste caso devem ser previstas régua de remate para cobrir as juntas. (Honka, 2015).

Entre as chaminés e a estrutura de madeira deve haver uma junta de cerca de 10cm com isolamento à prova de fogo, devendo as ligações entre os revestimentos e a chaminé prever uma junta deslizante. (Honka, 2015). As escadas devem ter uma construção independente e uma ligação ao pavimento que permita o deslizamento da junta. Normalmente utilizam-se chapas angulares com um rasgo linear de aparafusamento (cf. Figura 281). (Honka, 2015). Nas situações em que seja necessário montar pilares nos quais apoiam toros, estes devem ter uma ligação com um apoio regulável no topo ou na base (Peraza Sánchez, et al., 1995).

No caso de ser necessário instalar móveis suspensos pode-se instalar uma estrutura de suporte com ligações deslizantes que permitam que a parede assente. No entanto a Honka considera que se devem ligar os móveis directamente às paredes de toros. Neste caso os móveis suspensos devem ser fixados ao toro superior e eventualmente com uma segunda ligação deslizante num toro inferior. Os móveis assentes no pavimento devem ser ligados apenas à base, prevendo-se nos tampos ou roda-tampos juntas deslizantes (Honka, 2015).

As peças de remate assumem uma grande importância na construção em toros porque são uma forma de preencher as juntas e os vazios necessários para absorver o assentamento e as retracções que se dão ao longo do tempo. As ligações entre a cobertura e as paredes de toros, as ligações da compartimentação interior, as molduras das janelas, são alguns dos pontos críticos para os quais se devem prever as peças de remate. Devem utilizar-se pregos sem cabeça para os remates de modo a evitar o bloqueio dos movimentos. Os remates podem também ser aproveitados para utilização como caminhos de infraestruturas (Honka, 2015).

### 3.3.1.9 INFRA-ESTRUTURAS - TOROS

Em geral, para caminhos de infraestruturas utilizam-se preferencialmente os espaços dos pavimentos e dos tectos e se possível devem utilizar-se calhas visitáveis. No entanto os toros podem ser pré-furados para tal efeito, especialmente nas zonas próximas dos cantos (Honka,

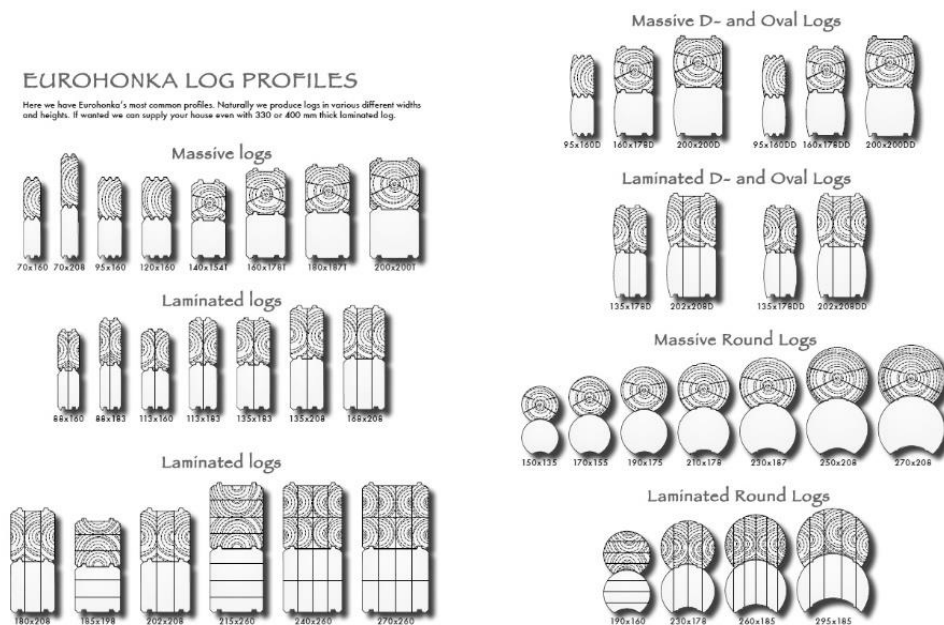


Fig. 283 - Secções de toros oferecidas pela empresa EuroHonka (EuroHonka, 2015), maciços ou lamelados colados, com secções circulares, rectangulares ou mistas.

2015). As instalações eléctricas devem-se fazer o mais possível através dos tectos e dos pavimentos mas sobre ou sob o isolamento térmico e não envolvidas por ele, devendo evitar-se perfurar a barreira de vapor. Deve prever-se também aqui o assentamento da construção, evitando a possibilidade do seu esmagamento (Honka, 2015). A empresa Honka aconselha que no caso de ser necessário integrar caminhos de cabos no interior dos toros, o trabalho deve ser efectuado pela empresa (Ivanova, 2010).

Para as instalações eléctricas são utilizadas frequentemente as molduras das portas e janelas instalando-se caminhos de cabos através de furações nos pré-aros, montando-se os interruptores nas molduras. Nas paredes de toros, deve fazer-se a passagem através das eventuais caixas-de-ar. Para as canalizações que possam ser afectadas pelo assentamento da estrutura devem ser previstas braçadeiras deslizantes e tubagens flexíveis para os equipamentos sanitários (Bignon & Critt-Crai, 2003). As condensações nas tubagens de água devem ser evitadas através do seu isolamento (Ivanova, 2010). Também a fixação de equipamentos como caldeiras devem ser efectuadas através de ferragens deslizantes e com remates de topo deslizantes ou flexíveis.

### 3.3.2 PRODUTOS UTILIZADOS - TOROS

Peraza Sánchez, et al (1995) referem que as madeiras mais utilizadas na construção em toros são o *Hemlock* (*Tsuga canadensis*), o *Western Red Cedar* (*Tuja plicata*) e o *White Cedar* (*Chamaecyparis thyoides*) na América do Norte e o *Abeto* (*Abies Alba*), o *Abedul* (*Betula pendula*) e o *Pinho Silvestre* (*Pinus sylvestris*) na Europa. Bignon e Critt-Crai, (2003) apontam também o *Espruce* (*Picea Abies*) e a *Pseudotsuga* (*Pseudotsuga menziesii*). Na Suécia, as casas de madeira tradicionais são construídas principalmente com Pinho, embora se utilize também o *Espruce* Norueguês. O *Espruce* tem a vantagem de, em geral, se apresentar com mais verticalidade que o Pinho, com menos peso e por isso com um maior factor de isolamento, embora tenha as desvantagens de ser menos resistente estruturalmente e menos durável. Por outro lado o *Espruce* apresenta mais nós, sendo mais difícil de

transformar, razão pela qual, na opinião de Hakansson (Hakansson, 2003) o Pinho é a madeira preferida para a construção em toros<sup>233</sup>.

Na Suécia e na Noruega as secções mais comuns para toros maciços variam entre 150mm e 200mm. Na Suécia as árvores abatidas para toros rectangulares devem ter pelo menos 200mm de diâmetro para poderem dar origem a uma espessura de 150mm (Hakansson, 2003), podendo obter-se comprimentos de 8m com alguma facilidade. Quanto à matéria-prima, a preferência genérica deve ser dada a árvores maduras, e com crescimento competitivo, devido à maior dimensão do cerne e à verticalidade do fuste, preferindo-se também as árvores de anéis de crescimento menos espaçados (Hakansson, 2003).

Como é natural, diferentes empresas utilizam diferentes componentes. A Rusticasa apresenta toros de 7cm, 12cm e 16cm<sup>234</sup>. A Toscca 7cm, 9cm, 12cm, 14cm. A EuroHonka (EuroHonka, 2015) disponibiliza toros de secção rectangular maciços com espessuras de 7cm, 9,5cm e 12cm, e excepcionalmente 14cm a 20cm( cf. Figura 283). Na mesma empresa, para toros laminados de secção rectangular as espessuras são 8,8cm, 11,3cm, 13,5cm, 16,8cm, 20,2cm e 21,5cm, finalmente para secções circulares maciças, os diâmetros são 15cm, 17cm, 19cm, 21cm, 21,3cm, 25cm e 27cm. A Honka apresenta toros redondos maciços entre 130mm e 230mm, produzindo também um toro redondo colado, o “Honka Duo” que é cortado ao meio antes de se proceder à sua secagem, sendo depois colado. Os toros rectangulares laminados da Honka normalmente têm três lamelas e as espessuras variam entre os 8,8cm e os 16,4cm (com secções de 8,8x18cm, 11,2x18cm, 13,4x18cm e 16,4x17,5cm). A Honka produz ainda os toros multi-laminados que surgem nas duas formas, redondo ou rectangular e apresentam grandes dimensões: 18,2x26cm e 20,4x26cm para os rectangulares e 22,6x26cm para os redondos (Ivanova, 2010).

Os toros podem ser também adquiridos por encomenda à peça para situações em que o processo não é acompanhado por uma empresa especializada de casas de madeira. A empresa Stora Enso, por exemplo, fabrica toros laminados normalizados em componentes KVH, Duo ou Trio, com as seguintes dimensões: 12x24cm, 14x14cm, 16x24cm, com dois entalhes, e 20x24cm com três entalhes. Os comprimentos normalizados têm 13m, podendo ser fabricados a pedido até 16m (Stora Enso, 2015). Na América do Norte é comum também a venda de toros pré-fabricados comercializados por serrações, com as dimensões cortadas em função da encomenda.

### 3.3.3 EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - TOROS

#### 3.3.3.1 ESTABILIDADE - TOROS

Segundo o documento de Homologação da Rusticasa, o cálculo estrutural deve ser efectuado com base nas normas (EN 1995-1-1:2004 e respectiva emenda EN 1995-1-1:2004/ /A1:2008). Na análise da segurança estrutural devem ser consideradas as acções definidas no RSA. O desempenho sísmico depende da rigidez e da resistência das paredes e da ligação destas às fundações. A verificação de segurança das paredes de toros deve ser efectuada adoptando uma classe de resistência C18 (LNEC, 2012).

<sup>233</sup> Hakansson (2003) refere alguns critérios de escolha do Pinho baseados na tradição: deveria preferencialmente crescer em solos pobres (solos arenosos ou de montanha) para ter anéis densos; as vertentes norte das montanhas ofereciam os toros mais direitos; deveriam preferir-se as florestas densas para fomentar a verticalidade e eliminar o excesso de ramos; a árvore deveria ser madura quando cortada; através da visualização da casca e da copa conseguia prever-se se a madeira teria um grão direito, evitando-se o grão em espiral (especialmente a espiral com crescimento para o lado esquerdo).

<sup>234</sup> A Rusticasa utiliza e fabrica toros produzidos com madeira de Casquinha importada da Suécia e Finlândia com secções de 50x175mm e 50x200mm (LNEC, 2012).

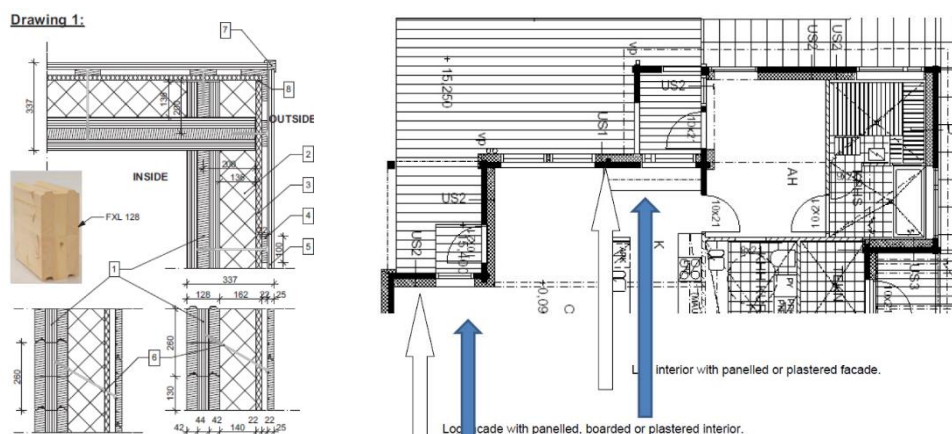


Fig. 284 - Sistema Honka Fusion com toros isolados pelo exterior, podendo alternar com a mesma solução pelo interior (Honka, 2015).

Na verificação da resistência das paredes às acções verticais deve-se ter atenção à esbelteza das paredes e ao comprimento entre cruzamentos de paredes, devendo respeitar-se as dimensões máximas e efectuar as ligações adicionais necessárias, entre componentes (LNEC, 2012). A resistência às acções horizontais no plano da parede, para além do cumprimento das distâncias mínimas entre cruzamentos de paredes, é assegurada pela ligação dos toros verticalmente nos pontos mais frágeis, como as aberturas de vãos de portas e janelas, devendo manter-se as distâncias mínimas aos topos segundo as normas (LNEC, 2012). A resistência às acções verticais na perpendicular ao plano da parede é assegurada pelas ligações de entalhe de cada toro superior no inferior bem como pelas ligações aparafusadas e também pelas ligações de canto (LNEC, 2012).

O impulso da cobertura, que tende a empurrar o toro em que os caibros apoiam para o exterior, é resolvido com o aparafusamento e ligação dos três últimos toros (LNEC, 2012). A verificação de segurança do pavimento elevado deve ser efectuada adoptando as classe de resistência C18 e GL24h para os componentes de madeira maciça e madeira lamelada colada. Os vãos máximos entre vigas de pavimento e as distâncias entre eixos são 3,50m com 0,50m; 3,30m com 0,60m; e 2,90m com 0,70m (LNEC, 2012).

### 3.3.3.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO - TOROS

O controlo da segurança contra incêndio pode ser realizado através da espessura das secções, através de painéis resistentes ao fogo e de pinturas retardadoras. Em geral, os toros maciços permitem assegurar uma resistência ao fogo de 1/2 horas. (Bignon & Critt-Crai, 2003). No caso de protecção química com retardadores, esta deve ser renovada em ciclos de 10 a 15 anos (Ivanova, 2010).

Em Portugal, as habitações de dois pisos são classificadas segundo o regulamento de segurança contra incêndio em espaços do tipo I classificados na 1ª categoria de risco, estando por isso isentos de exigências de reacção ao fogo no que se refere aos componentes estruturais. No entanto o revestimento exterior de coberturas inclinadas deve incluir-se pelo menos na classe de reacção ao fogo C-s2 d0 (LNEC, 2012).

O sistema Rusticasa inclui materiais cujos componentes estruturais de madeira maciça (vigas, pilares, caibros, pilares e barrote) são classificados em termos de reacção ao fogo na classe D-s2, d0, sendo os elementos estruturas de madeira lamelada colada classificados na classe D-s2. As paredes de madeira maciça são classificadas na classe D-s2, podendo através de um revestimento alterar-se esta classificação (LNEC, 2012).



### 3.3.3.3 ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO - TOROS

Nas regiões de climas temperados, as soluções com paredes de toros devem ser estudadas de modo a fornecer alguma massa térmica que permita amenizar os picos de temperatura. Deve haver uma combinação entre a solução de parede, o controlo dos envidraçados e a cobertura balanceada para protecção dos ganhos solares na Primavera, Verão e Outono. A massa de material interior poderá armazenar durante o dia o calor que libertará durante a noite, de forma conjugada com uma adequada ventilação (Log Homes Council, 2003). A eficácia desta massa térmica pode no entanto ser questionável, pelo que a eficiência do sistema de toros consistiu primeiro em tornar a sua secção regular (toros rectangulares) e introduzir isolamento térmico no interior. A massa térmica necessária (se não bastar a da madeira) pode ser introduzida através de elementos construtivos de outros materiais como o betão ou as alvenarias de tijolo ou pedra.

O comportamento térmico do sistema está relacionado com as características de resistência térmica da envolvente. O controlo das exigências térmicas pode ser efectuado através do aumento da espessura dos toros, da introdução de isolamento térmico interior e da adopção de uma composição com parede dupla com isolamento térmico integrado. O isolamento térmico pelo exterior é um sistema aparentemente não faz muito sentido neste sistema uma vez que o carácter dos toros à vista pelo exterior é o principal factor de identidade do sistema, no entanto recentes inovações contemplam precisamente este tipo de solução como acontece nas soluções do tipo Honkafusion (2015) (cf. Figura 284).

Bignon (2003) refere que a solução mais comum para a obtenção de isolamento térmico adicional consiste em colocar isolamento térmico pelo interior entre uma estrutura de sarrafos fixados com ferragens deslizantes que é depois revestida com um acabamento de gesso, ou de derivados de madeira ou de perfis de madeira maciça, que podem remeter para a mesma métrica de juntas que a dos toros (Bignon & Critt-Crai, 2003). Cooper (1993) descreve também uma solução de isolamento pelo interior, que considera a mais básica, através da montagem de uma parede de reticulados leves de 2"x6".

O isolamento acústico dos pavimentos pode ser melhorado se se introduzirem medidas construtivas adicionais que podem consistir em pavimentos flutuantes, integrando-se adicionalmente isolamento acústico no revestimento de tecto e a sua descolagem das paredes através de ligações indirectas (Honka, 2015).

### 3.3.3.4 DURABILIDADE - TOROS

Como foi referido anteriormente, a distinção entre protecção construtiva e protecção química é especialmente importante na perspectiva da Arquitectura uma vez que a consideração da primeira pode evitar que seja necessário aplicar a segunda. A definição de medidas que evitem que a madeira possa sofrer ataques biológicos e acções erosivas que afectem a sua durabilidade, reduz a necessidade de aplicação de protecções químicas, reduzindo-se os custos envolvidos na obra e contribuindo-se assim para uma construção ambientalmente mais responsável.

As medidas construtivas podem começar com a secagem dos toros em fábrica e com a protecção dos componentes com telas de cobertura quando entregues na obra. Segundo a Honka, devem tomar-se medidas construtivas para assegurar a durabilidade da construção começando com a distância de segurança de 30cm da base das paredes de toros em relação ao solo exterior. O assentamento do primeiro toro sobre uma tábua e com uma tela impermeabilizante protege as paredes num dos pontos mais sensíveis. As ligações entre diferentes materiais, como é o caso das lajes de betão com e o arranque dos toros, devem



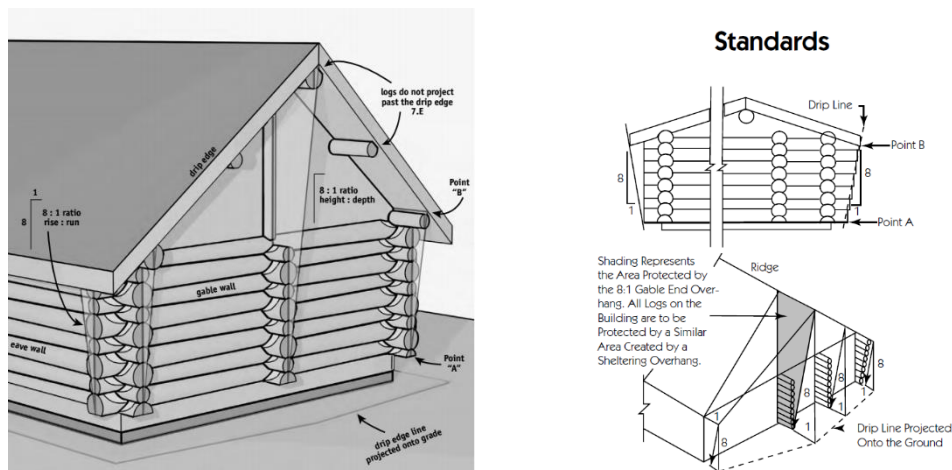


Fig. 285 - Relação 1:8 entre projecção do beirado e altura da construção (ILBA, 2011) (Musick, 1999).

ser desenhadas de modo a que a água que aí se acumule possa ser drenada e evaporada rapidamente. As coberturas deverão desejavelmente ter beirados projectados de modo a proteger as superfícies das paredes de madeira. Cooper (1993) refere que o balanço nas empenas deve ser de 5' (1,50m). Outras fontes (ILBA, 2011) indicam uma regra mais geral segundo a qual a projecção deve ter um rácio de 1:8 em relação à altura do beirado à soleira (cf. Figura 285).

Os componentes individuais devem também ser alvo de medidas de protecção. Os topos dos toros e as superfícies horizontais devem ser protegidas não só através da cobertura mas com peças sacrificiais ou rufos metálicos. Devem prever-se peças de remate de juntas entre parede e cobertura, entre vãos e cobertura e também peças de protecção dos lintéis e aros de vãos, para evitar a penetração da água. Cooper (1993) aconselha remates metálicos em vez de selagens com mástiques. O uso de repelentes à água através de pinturas é aconselhado para prevenir a penetração de água no interior da madeira, expulsando-a mais rapidamente para o exterior, protegendo assim a madeira do ataque dos ultravioletas e prevenindo a sua descoloração. A aplicação destes tratamentos ou velaturas ou protecções deve ser feita logo após a montagem da parede para que seja mantida uma coloração homogénea (Honka, 2015). Segundo a Honka as protecções químicas devem ser evitadas, reservando-se estas para o exterior ou para situações em que se tenham detectado ataques biológicos (Honka, 2015), no entanto algumas companhias oferecem a opção de fornecer os toros com tratamento prévio (Cooper, 1993).

Na tradição Sueca, utilizava-se nas casas de toros um revestimento protector apenas nas fachadas mais expostas ao vento e à chuva. Hakansson (2003) refere que para além da solução corrente de proteger as paredes com as projecções da cobertura, actualmente é normal revestir as fachadas mais expostas com perfis de madeira ou shingles. De qualquer modo a importância da projecção das coberturas pode ser confirmada neste cometário do mesmo autor:

*"I have dismantled a number of buildings built with double-slot notches and locking shoulders and I have concluded that the joints only rarely have been damaged. Often, however, older log shells show log damage caused by poor roofing and insufficient overhangs".* (Hakansson, 2003, p. 38)

No sistema Rusticasa, a durabilidade é uma exigência controlada através de diversos dispositivos construtivos referidos no "Documento de homologação - Rusticasa sistema de construção industrializada DH 915". Na base dos componentes de parede, devido à

proximidade do solo considera-se o risco de ataque biológico (fungos e térmitas) correspondente a uma classe de risco 4, devendo ser aplicado um tratamento com CCB em profundidade e montado um perfil saliente entre a tábuia de soleira e o primeiro toro, de barreira à progressão de térmitas (LNEC, 2012). É referido no documento que deve ter-se especial atenção às medidas de durabilidade de zonas como as estruturas das varandas, os topos dos elementos verticais e as paredes. As paredes exteriores enquadram-se na classe de risco 3 (EN 335-2), devendo ser tratadas com um produto insecticida e fungicida tipo Hidroxil R2 por pincelagem ou aspersão (LNEC, 2012). Nos interiores, as paredes e pavimentos de cozinhas e instalações sanitárias devem ter acabamentos com estanquicidade satisfatória, recorrendo às placas rígidas de gesso com fibras de madeira tipo “Fermacell” revestidas com azulejos a tintas epoxídica ou de esmalte ou azulejos (LNEC, 2012).

No sistema Honka, também se recomenda o tratamento dos toros nas paredes exteriores, para combater os efeitos da radiação ultravioleta, e os fungos cromogéneos mas refere-se que os tratamentos com produtos biocidas devem ser evitados e em especial em superfícies muito expostas à chuva. Como preocupação geral, indica-se ainda que as pinturas utilizadas devem permitir sempre a respiração da madeira, não devendo ser formados filmes espessos e impermeáveis (Honka, 2015). Adicionalmente, recomenda-se que os topos dos toros das paredes não sejam projectados em demasia, sendo recomendada uma dimensão de cerca de 20cm (8”). Propõe-se ainda a instalação de algerozes e tubos de queda que afastem a águas das paredes e a protecção das fachadas mais expostas à chuva e vento.

Os cuidados com a durabilidade dos componentes devem começar com o seu armazenamento em obra. Estes devem ser armazenados sobre suportes (tratados ou de madeira seca), deixando uma distância entre o solo e o primeiro toro de cerca de 30cm. As telas de protecção que são colocadas sobre os toros devem permitir a circulação de ar. O armazenamento de longa duração deve ser realizado numa zona coberta e bem ventilada, devendo os toros ser afastados entre si para permitir a sua secagem natural. Se estiverem previstos tratamentos químicos estes devem ser efectuados o mais cedo possível (Honka, 2015). Deve igualmente ter-se cuidado com a primeira utilização já que o aquecimento inicial deve ser gradual e acompanhado de ventilação para evitar os gradientes de pressão que conduzem a fendas (Ivanova, 2010).

Após a conclusão da obra deve ser planeada uma inspecção anual que inclua uma verificação e ajustes de assentamento e manutenção. Uma lista de inspecção anual deve incluir a verificação dos seguintes pontos: aperto dos tirantes (e verificação da verticalidade), assentamento sobre montantes e pilares, assentamento nas intersecções com chaminés, intersecções da cobertura com os toros, grelhas de ventilação e seu funcionamento na cobertura, limpeza de caleiras e tubos de drenagem de águas pluviais (especialmente no Outono), verificação de salpicos e fugas dos tubos de águas pluviais, verificação do estado da inclinação do terreno para o exterior junto às paredes, verificação de ramos de árvores que possam interferir com o bom funcionamento da cobertura, verificação de arbustos próximos das paredes exteriores (afastamento aconselhado superior a 50cm), verificação do estado de peças sacrificiais e de protecção e eventual substituição, condições da tábuia de soleira das paredes e dos primeiros toros, verificação da fixação das peças de remate, em vãos e intersecções, estado do assentamento nas compartimentações, juntas entre elementos de madeira e elementos de outros materiais, assentamentos e funcionamento de portas e janelas, ligações das escadas, ligações de mobiliário, níveis e cotas do assentamento e correcção, acabamentos da parede exterior (Honka, 2015). Devem-se verificar igualmente os tectos, paredes e pavimentos de zonas com infraestruturas de águas e esgotos e sujeitas a

salpicos. Uma especial atenção deve ser dada à procura de fendas exteriores e à limpeza dos paramentos para evitar as zonas propícias ao crescimento de fungos. No caso de repinturas, deve-se ter o cuidado de verificar se a humidade da madeira é inferior a 20% (Ivanova, 2010).

A Rusticasa implementa um sistema de manutenção que prevê duas inspecções após 9 e 18 meses depois da conclusão da obra. Adicionalmente o *kit* de construção é acompanhado por instruções de manutenção, incluindo a repintura das fachadas exteriores 18 meses após o fim da construção, devendo as seguintes repinturas ser realizadas em intervalos de três anos (LNEC, 2012).

Ivanova (2010) realizou um estudo que contemplou a inspecção de casas de toros na Rússia, observando algumas das patologias que podem surgir neste tipo de construção. Uma casa de toros de dois pisos da Honka construída em S. Petersburgo, Rússia em 2001 e inspeccionada em 2010 mostrou um assentamento de 8cm ao fim do primeiro ano de serviço e de 3 cm durante o segundo ano, tendo esse processo sido acompanhado das habituais fendas nos toros. Os toros foram tratados com uma solução anti fungos no exterior e com uma solução anti incêndio no interior (que é renovada de 5 em cinco anos) e a cobertura é limpa anualmente. Os parafusos reguladores das paredes são verificados por técnicos em ciclos de 6 meses e a casa recebe uma inspecção anual de técnicos da Honka. Apesar do estado da obra ter sido considerado bom e os donos da obra tivessem manifestado satisfação com a sua qualidade, a inspecção encontrou alguns pontos frágeis. Algumas janelas tiveram problemas de funcionamento ao fim de um ano de serviço devido ao assentamento da construção, tendo sido necessário recorrer a correcções nos aros. As juntas entre o terraço exterior e as paredes de toros evidenciam a presença de fungos devido à acumulação de humidade. A situação que se avaliou como mais grave deveu-se à congelação de água no interior dos toros, o que terá produzido fendas nas paredes exteriores. Também se verificou alguma entrada de água nas ligações dos parafusos reguladores que por esse efeito se mostraram oxidados.

Uma segunda casa com dois pisos mais a cobertura de toros redondos maciços, próxima de S. Petersburgo, e concluída em 2004 revelou um assentamento de nove centímetros no primeiro ano e dois centímetros no segundo ano. O estado geral da casa foi considerado bom mesmo sem ter sido efectuado o tratamento anti fungos nos toros exteriores. Os donos da casa têm a preocupação de ventilar a casa para evitar grandes diferenciais de humidade. O controlo dos assentamentos é feito através dos parafusos reguladores duas vezes por ano. As inspecções globais da casa realizadas por técnicos da Honka, eram inicialmente efectuadas duas vezes por ano tendo passado a ser feitas uma vez por ano. A inspecção notou um diferencial nas cores da casa entre as fachadas expostas e as fachadas em sombra. Verificou-se também alguma oxidação nos parafusos dos tirantes reguladores e detectaram-se fendas de retracção generalizadas nos topos dos toros e longitudinalmente (Ivanova, 2010).

### **3.3.4 PROCESSOS - TOROS**

A fase de concepção que dá início ao processo de construção de uma casa de madeira pode ser levada a cabo de diversos modos, cabendo ao cliente a escolha daquele que considera o mais adequado à sua situação. No âmbito dos processos em que o cliente se dirige a uma empresa, invariavelmente estas apresentam várias possibilidades em relação ao controlo do projecto. O cliente pode escolher um projecto de catálogo ou um projecto personalizado e pode querer envolver à partida um Arquitecto que previamente escolheu ou pode encarregar a empresa desse processo. Como alternativa às empresas especializadas, pode-se recorrer

também às serrações ou carpintarias, embora como é evidente, os processos neste caso devam ser mais morosas e no sistema de construção com toros seja uma situação pouco comum. Em Portugal são as empresas de fabrico e construção ou só de construção (representantes de marcas estrangeiras) que em exclusivo se ocupam deste mercado. Nos EUA, onde é possível no mercado dos materiais de construção comprar toros avulso, cerca de 90% da produção de casa de madeira é efectuada por empresas especializadas (Sweet, 2011).

O fornecimento das casas de toros de madeira em *kit* é um dos processos mais comuns neste sistema construtivo. A Honka por exemplo inclui no *kit* habitual a estrutura de madeira, os elementos decorativos (guarnições) em madeira, as escadas, os isolamentos e barreiras de vapor, a cobertura e o tratamento dos paramentos exteriores (Ivanova, 2010). Uma obra com o sistema Honka, no contexto da Rússia, pode ter o seguinte faseamento e duração relativa: 1) Estudo prévio (18%); Projecto de obra (9%); Preparação do terreno (2%); Entrega e armazenamento da estrutura de madeira (2%); Instalação das fundações (5%); Instalação das paredes (7%); Instalação da cobertura (2%); Instalação dos pavimentos (9%); Acabamentos (18%) e Arranjos exteriores (27%) (Ivanova, 2010).

A Rusticasa também fornece o seu produto em *kit*, sendo os componentes enviados para a obra em função da necessidade de construir uma envolvente estanque o mais rapidamente possível. (LNEC, 2012). A montagem pode ser concretizada pela Rusticasa ou por uma outra empresa construtora que executará a obra segundo as suas instruções. A montagem consiste nas seguintes operações: preparação, descarga de materiais, verificação da estrutura de suporte quanto a cotas (20cm acima do solo envolvente) e declives de drenagem (1,5% em terraços), montagem das paredes, montagem dos pavimentos elevados, montagem das vigas de cobertura, montagem da caixilharia exterior, seguida da interior, montagem dos acabamentos interiores, aplicação do acabamento no exterior (LNEC, 2012). Normalmente as empresas de fabrico de casas de madeira também oferecem os serviços de montagem da estrutura de madeira, mas excluem os trabalhos relacionados com as fundações e betonagens, ou contratam subempreiteiros nos casos em que são responsáveis por toda a obra (Ivanova, 2010).

Nas obras de construção em toros, para a descarga dos materiais será necessário prever equipamentos de elevação como gruas ou empilhadores. No caso da Honka, os grupos de toros são fornecidos em unidades de armazenagem de 8,00mx1,00m. Como os sistemas são fornecidos em *kit* é importante organizar os toros (que são fornecidos numerados) em função da ordem de montagem expressa nos desenhos de montagem. Cada conjunto de toros deve ser disposto do lado exterior da obra junto à fundação correspondente à parede a que pertence (Honka, 2015).

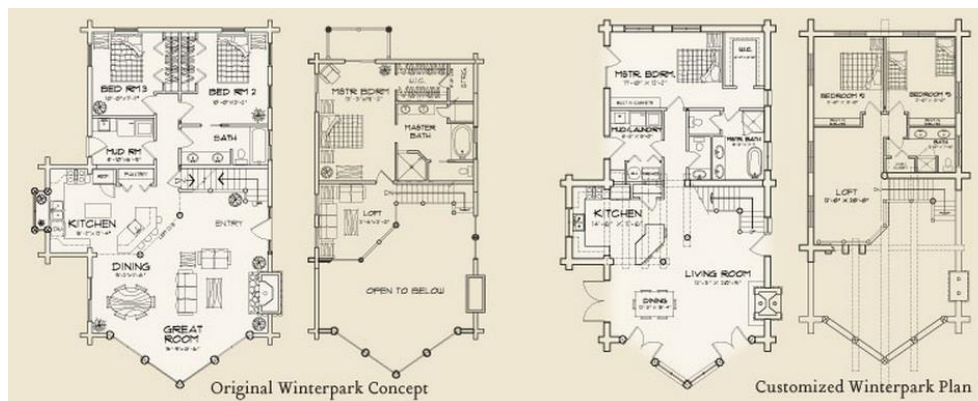


Fig. 286 - Exemplo de processo de personalização a partir de solução de catálogo (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015).

A empresa canadiana Coyote Log homes inc (Coyote Log Homes, 2015) apresenta uma listagem do processo de compra de uma casa de toros dividida por seis fases. O processo inicia-se com uma definição do orçamento disponível, para a definição do qual oferece uma calculadora *online* onde com base nos valores dados pelo cliente (montante disponível de poupanças para a casa e rendimento anual) se obtém automaticamente o valor resultante de empréstimo bancário a que o este tem acesso e, com base no qual se estabelece o montante máximo do orçamento. Através deste valor e com base num valor de obra de referência (que no caso dos toros pode ser \$175/sf) obtém-se a área bruta previsível para o orçamento máximo. A segunda fase consiste na definição de um tipo simbólico que corresponda aos desejos do cliente:

*“Start by flipping through log home magazines and books and cutting out pictures that appeal to you, and then organizing all of these clippings in a folder for quick reference. Next, you’ll have to reduce your pile of clippings by separating your needs and wants, which are ultimately decided by your budget”.* (Coyote Log Homes, 2015)

*“You may also want to use our log home floor plan book, which contains exclusive designs created by world-renowned log cabin designer and architect Murray Arnott, to help you decide on the features you may want to include in your home”.* (Coyote Log Homes, 2015)

Uma vez estabelecido um modelo arquitectónico com base nos tipos simbólico, espacial e funcional, passa-se à terceira fase. Esta consiste numa reunião com a empresa e destina-se a efectuar uma revisão do modelo em função das especificidades do sistema de toros. Deverá haver ainda uma segunda reunião no terreno do projecto para incorporar as condicionantes do contexto.

A quarta fase consiste na definição de um estudo prévio (plantas e alçados) apresentado ao cliente pela equipa de design da empresa para aprovação (ou eventual revisão), com base no qual se pode fazer uma estimativa de custo. Depois deste estudo prévio aprovado, a equipa de design desenvolve os desenhos de construção e as respectivas especificações. Este processo tem um custo mínimo de \$1,000 (sendo o valor calculado para cada projecto entre 5 % a 10% do valor da obra).

A quinta fase é a da assinatura do contracto, após a qual se pode começar a produção dos componentes da casa. Os pagamentos são faseados normalmente em cinco fases, variando as percentagens em função dos tipos de obra. Normalmente essas fases são as seguintes: assinatura do contracto (25%); começo da produção (20%); altura de paredes pré-montadas até 1,80m de altura no estaleiro da empresa (20%); conclusão da estrutura (25%); entrega e montagem no local da obra (10%). Este processo é relativamente semelhante a todas as

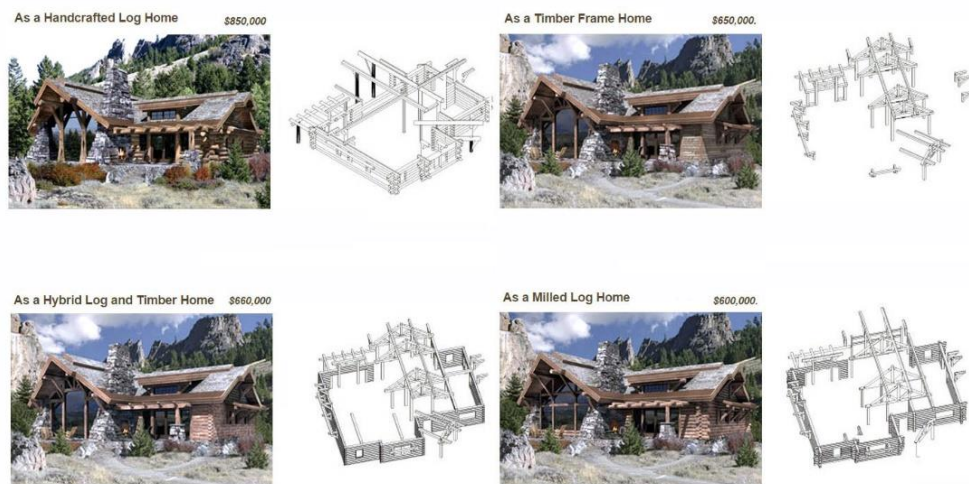


Fig. 287 - Diferentes opções construtivas sobre a mesma solução funcional (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015).

empresas de casas de madeira da América do Norte. A empresa Streamline Design (Streamline Design, 2015) designa as diferentes fases do seguinte modo: 1) "Discovery and inspiration"; 2) "Creative development"; 3) "Redefining phase"; 4) "Budget verification phase"; 5) "Construction drawings and engineering phase".

Muitas empresas de casas de toros têm as suas próprias equipas de Arquitectura. Por exemplo a empresa Precision Craft - Log & Timber homes (2015) tem uma equipa interna de design cujo processo de projecto recomendado consiste na consulta à base de dados de modelos do catálogo da empresa. O recurso ao catálogo é aconselhado mesmo nos casos em que se pretende uma solução personalizada. A empresa oferece basicamente dois tipos de sistemas, mas apresentados como subsistemas: As casas de toros redondos, as casas híbridas de toros e "timber frame", e as casas de porticados "timber frame" puras. O interesse das informações dadas por esta equipa de design reside no fato de se apontarem os critérios fundamentais para a escolha de um sistema construtivo:

*"Choosing a specific log or timber product combination for your design is based on your own aesthetic preferences and budget."* (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015).

Embora as casas de toros estejam conotadas com tipos simbólicos tradicionalistas rústicos, cada vez mais se experimentam soluções fora desse estereótipo:

*"Honka offers wide range of styles - from the laconic "high-tech" to the spectacular "aged" interiors with antique furniture and elements of Neo-Classicism. You can also choose the Scandinavian minimalism and country style."* (Ivanova, 2010)

A informação do processo de design refere ainda que o grau de complexidade é um factor de custo, apontando como factores de complexidade o número de planos da cobertura, o número de cantos e diversidade de ângulos do perímetro da construção, e o recorte especial de vãos de janela. Finalmente os acabamentos e os equipamentos de conforto podem fazer toda a diferença nas componentes estéticas e de conforto, com um impacto directo nos custos finais (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015).

As soluções de empreitada previstas pela empresa contemplam as seguintes opções: 1) O cliente escolheu previamente um construtor que fará todos os trabalhos<sup>235</sup>; 2) O cliente opta por um construtor independente através de um processo de "concurso"; 3) A empresa

<sup>235</sup> Neste caso algumas empresas como a Honka (Ivanova, 2010) fornecem um assistente para apoiar a montagem e controlar a qualidade em caso de tal ser pretendido. Em algumas empresas como na Precision Craft (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015) a empresa não prescinde da montagem da estrutura de madeira porque é uma forma de controlar a qualidade



fabricante assume também o papel de construtora. Na consulta às empresas de fabrico de kits de casas de madeira, a grande dificuldade surge quando se comparam sistemas que normalmente são diferentes porque cada empresa coloca em prática as suas próprias variantes. Assim, a comparação de propostas de várias proveniências com base no preço acaba por ser uma avaliação de valores e não de produtos.



Fig. 288 - Haus Luzi (Rakennustieto Oy, 2006) e Annalise Haus Peter Zumthor (<http://www.dezeen.com/2013/01/08/zumthor-lets-holiday-home-to-guests/>).



Fig. 289 - Honka Fusion house (Honka, 2015).



Fig. 290 - Honka Fusion house (Honka, 2015).



Fig. 291 - Twin Peaks house (<http://www.confederationloghomes.com/twin-peaks/>).



### 3.4 SISTEMA DE PAINÉIS PESADOS LAMELADOS CRUZADOS

Descreve-se neste capítulo o sistema construtivo de paredes pesadas de painéis de madeira lamelada cruzada colada, tendo em vista registar as condicionantes mais importantes para a definição do projecto de Arquitectura de habitações unifamiliares. O foco da descrição centra-se nos aspectos de maior relevância arquitectónica a ter em conta nas fases iniciais do projecto de Arquitectura. Os conteúdos específicos do cálculo estrutural, comportamento ao fogo, comportamento acústico e comportamento térmicos serão apenas abordados numa perspectiva arquitectónica.

As principais fontes de informação utilizadas foram as seguintes:

Documentos obtidos no sítio da empresa TISEM em Portugal.

Documentos obtidos no sítio da Empresa KLH no Reino Unido.

“CLT handbook - Cross Laminated Timber (U.S. Edition)” (Karacabeyli & Douglas, 2013)

#### 3.4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS CLT

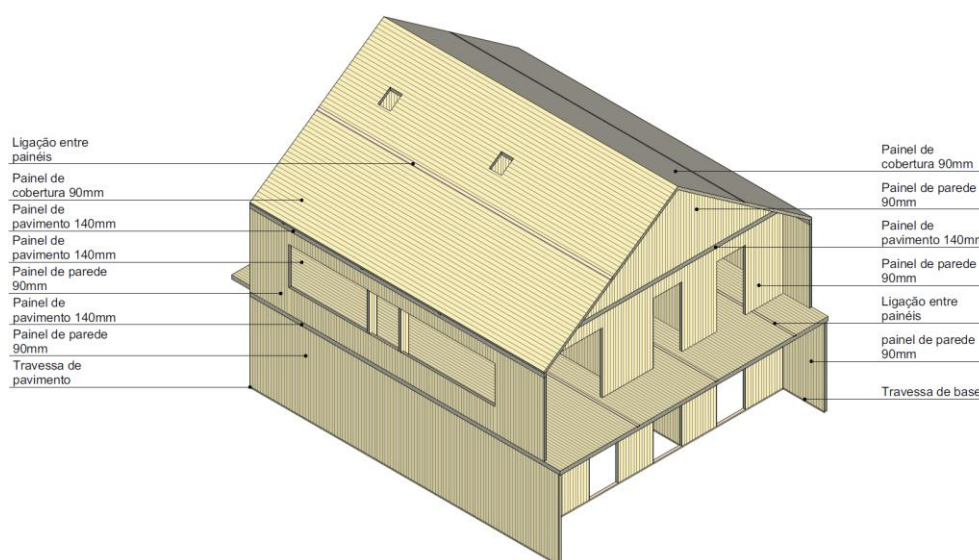


Fig. 292 - Sistema de painéis pesados de madeira lamelados cruzados (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).

O sistema de painéis de madeira lamelada cruzada colada (CLT-*Cross Laminated Timber*, ou *X-lam* -“*Cross lam*”), cuja classe de produtos é também designada em alguns países por “*massive*” ou “*mass-timber*” (Karacabeyli & Douglas, 2013) é composto por painéis dispostos na vertical para formar paredes, na horizontal para pavimentos ou coberturas planas e na oblíqua para coberturas inclinadas. O sistema é assim o que de um modo mais completo aplica o mesmo tipo de componentes a todos os elementos de construção, embora seja compatível com a utilização de componentes de outros sistemas. Do ponto de vista visual-arquitectónico o sistema, tal como os reticulados leves, não tem obrigatoriamente uma identidade específica uma vez que os painéis apenas deverão ser deixados à vista pelo interior como uma opção especial. Esta possibilidade revela-se no entanto como uma potencialidade arquitectónica específica do sistema já que a estrutura à vista proporciona características estéticas únicas e próprias dos componentes lamelados utilizados.

A História dos painéis CLT é recente, tendo-se iniciado a exploração da sua tecnologia no princípio da década de 1990 em Lausanne na Suíça, foi continuado o seu desenvolvimento depois na Áustria através de uma colaboração entre a Universidade e a Indústria. A partir de

2000, a produção dos painéis centrou-se na Áustria e na Alemanha, tendo os países da Europa Central e do Norte liderado a sua utilização (Áustria, Alemanha, Suíça, Suécia, Noruega e Reino Unido). Assistiu-se depois a uma expansão para outros continentes, nomeadamente através da instalação de fábricas no Canadá e Austrália (Timber Development Association, 2012) e depois nos EUA.

As principais características do sistema em termos de processo, materiais, Arquitectura, envolvente, custo e uso podem ser sintetizadas nos seguintes pontos:

1. O sistema faculta um processo de construção rápido<sup>236</sup> devido à grande dimensão dos painéis e à sua leveza relativa. Os componentes adequam-se ao desenvolvimento de soluções de módulos parciais ou totais pré-montados em fábrica. Os painéis têm aplicação nos elementos construtivos principais (parede, pavimento e cobertura), simplificando os fornecimentos e a montagem, proporcionando uma obra mais simples e segura. As condições de acesso ao local da obra podem ser um factor limitador.
2. O sistema pressupõe uma concepção especializada que exige verificação estrutural caso a caso, mas proporciona uma montagem em obra simples, não exigindo pessoal com formação específica.
3. O sistema exige uma concepção prévia completa em projecto não devendo ser objecto de alterações ou improvisos em obra. A concepção deve ser realizada tendo em conta os produtos e a informação técnica própria de cada fabricante.
4. O sistema consome grandes quantidades de madeira, mas não é especialmente exigente em relação à qualidade da madeira consumida (especialmente em termos de dimensões) uma vez que a base dos componentes são lamelas de reduzida secção. Apesar de poder ser considerado no universo dos sistemas construtivos em madeira como um sistema pesado, o painel CLT tem cerca de 1/5 da massa do betão (Timber Development Association, 2012).
5. O assentamento e retracção da madeira são factores redundantes. Os painéis CLT adequam-se à aplicação conjunta com outros materiais como o betão armado e o aço.
6. A manutenção dos elementos estruturais é reduzida uma vez que os painéis são protegidos por revestimentos. Nas obras em que estão montados à vista, estes surgem no interior.
7. O sistema proporciona uma variedade ampla de abordagens formais arquitectónicas, sendo facilmente adaptável a diferentes contextos. A sua singularidade arquitectónica obtém-se através da instalação de painéis interiores sem revestimentos.
8. O sistema normalmente não proporciona uma grande flexibilidade da planta uma vez que as paredes formadas pelos painéis são portantes.
9. O sistema proporciona uma flexibilidade elevada relativamente à abertura de vãos na fachada.
10. O sistema conduz a soluções com uma moderada inércia térmica e se deixados os painéis à vista no interior, estes contribuem para regular a humidade do ar.
11. O sistema está vocacionado sempre para soluções (com isolamento térmico envolvendo toda a estrutura) que eliminam as pontes térmicas.

<sup>236</sup> Especialmente em edifícios e altura média e alta construção (e.g. 5 a 10 pisos) onde a leveza dos painéis e a sua prefabricação, relativamente aos sistemas de construção corrente, são vantajosas. As fundações podem ser mais reduzidas e podem ser utilizadas guias de menor dimensão.

12. O sistema será em Portugal o menos económico em termos de custos imediatos.
13. Um reduzido número de empresas em Portugal aplicam este sistema na habitação unifamiliar.

Os estudos de mercado do produto visando a sua aplicação na América do Norte referiam que o produto compete directamente com as soluções de betão armado e de aço, especialmente no nicho de mercado da habitação colectiva de média altura, para além do mercado dos edifícios industriais e equipamentos escolares. Os benefícios apontados pelo estudo “The value proposition for Cross-Laminated Timber” (Crespell & Gaston, 2015) apontavam como benefícios no contexto da América do Norte uma redução de custo de 10% a 50% na construção da envolvente construída relativamente aos sistemas convencionais. Para além disso apresentava outros factores positivos como as boas credenciais ambientais, as vantagens associadas à pré-fabricação e um bom comportamento ao sismo<sup>237</sup>.

#### 3.4.1.1 DESCRIÇÃO GERAL - PAINÉIS CLT

Os painéis de lamelados cruzados colados são constituídos por várias camadas de lamelas de madeira coladas dispostas em estratos ortogonais. Normalmente os painéis apresentam um número ímpar de estratos (três a sete e só excepcionalmente mais). As lamelas de madeira são classificadas visualmente ou mecanicamente e secas em estufa e têm uma espessura entre 16mm a 51mm e uma largura entre 60mm a 240mm, sendo unidas através de juntas de entalhes múltiplos para se obterem maiores comprimentos. As dimensões dos painéis variam com os fabricantes, podendo as espessuras atingir até 500mm, as “larguras” normalizadas variam entre 0,60m, 1,20m, 2,40m, 3,00m e o comprimento poderá atingir os 18m, estando este normalmente limitado pelas condicionantes do transporte (Karacabeyli & Douglas, 2013).

Fabricantes diversos comercializam os painéis sob designações diferentes embora a composição básica do produto seja semelhante<sup>238</sup>, normalmente as dimensões normalizadas são definidas de modo diferente em cada fábrica. Na empresa KLH (Kreuzelagenholz), a espessura dos elementos de lamelados cruzados varia entre 50mm e 300mm e a dimensão máxima dos painéis é de 16,5m de comprimento, 2,95m de “largura” e 0,50m de espessura<sup>239</sup>. A grande dimensão dos painéis permite fornecer componentes que conduzem a uma montagem rápida da obra com uma minimização das juntas. O corte dos painéis, e os recortes de vazios e vãos é efectuado em fábrica através de tecnologia CNC (*Computer Numerical Controlled*), sendo os negativos para as tubagens executados em obra segundo as regras do fabricante (TISEM, 2012), podendo no entanto, a pedido, ser cortados também em fábrica (Timber Development Association, 2012).

<sup>237</sup> A empresa KLH considera que a poupança de custos associada aos painéis KLH decorre das seguintes características (KLH UK, 2013b): menor peso na estrutura e portanto um menor custo nas fundações ou nas lajes; o elevado grau de rigor dos cortes permite encomendar as janelas e portas sem necessidade de confirmar medidas no local; e um reduzido tempo de construção: Com base na experiência da KLH com os empreiteiros, as diversas especialidades têm oportunidades de poupança de tempo na ordem dos 30% a 50% (KLH UK, 2013b).

<sup>238</sup> A diferença fundamental entre os diversos fabricantes, para além das dimensões “normalizadas” consiste no tratamento dado às lamelas individuais. Alguns fabricantes aplicam a pressão sucessivamente sobre cada camada de lamelas previamente colada, outros fabricantes juntam e colam todas as camadas, processo após o qual é aplicada ao conjunto a devida pressão (Timber Development Association, 2012).

<sup>239</sup> Outras fontes referem 0,60m, 1,20m, e 2,95m de altura (até 4m) e comprimentos de 18,00m ou superiores, com uma espessura normalizada de 57mm a 300mm (até 500mm) (Timber Development Association, 2012).

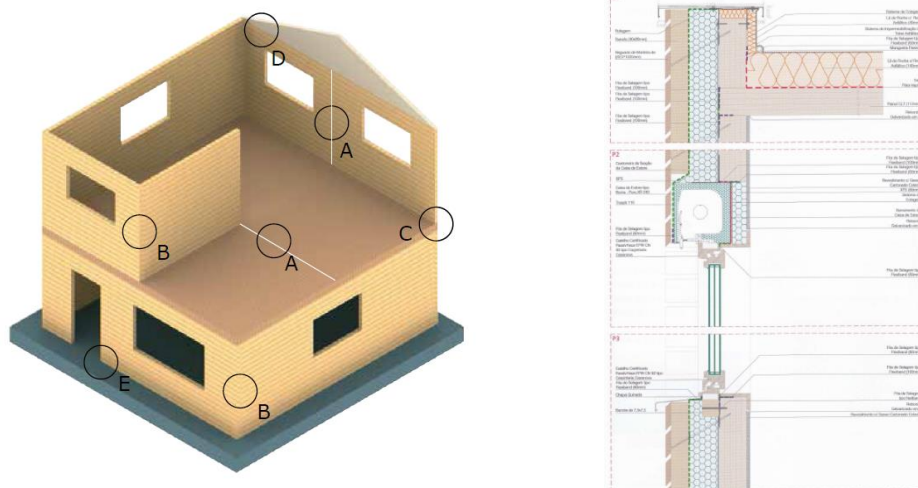


Fig. 293 - Edifício típico de dois pisos com painéis lamelados colados cruzados (Karacabeyli & Douglas, 2013) e pormenor construtivo tipo de fachada ventilada com estore (TISEM, 2005).

Os adesivos utilizados na generalidade dos casos são de poliuretano (PUR), embora tenham sido utilizados adesivos de outros tipos como os fenólicos. No caso da empresa Austríaca KLH a colagem dos painéis é efectuada com resina Purbond (HB 110, HB530), sem solventes orgânicos voláteis e formaldeído<sup>240</sup>. A KLH futiliza o processo de prensa de alta pressão física no fabrico dos painéis, o que permite a utilização do adesivo de poliuretano (KLH UK, 2013b).

As espécies de madeira mais utilizadas na composição dos painéis são o Espruce (*Picea abies*) e o Abeto (*Abies alba*) (TISEM, 2012). O Pinho (*Pinus silvestres*) e o Lariço (*Larix decidua*) podem também ser utilizados a pedido. Nas fábricas do Canadá a madeira utilizada é a combinação S-P-F (Espruce, Pinho e Abeto) A matéria-prima é proveniente de florestas com gestão ambiental, social e económica responsável, sendo reflorestadas as áreas sujeitas a extracção de madeira, facto demonstrável pelo certificado PEFC no caso da KLH (TISEM, 2012).

Os estratos superficiais nas paredes são orientados na direcção vertical das cargas normais e nos pavimentos e coberturas são paralelos aos esforços principais (Karacabeyli & Douglas, 2013). Devido a esta disposição, os painéis suportam as cargas em ambas as direcções (assumindo o comportamento de uma laje), manifestam uma excelente estabilidade dimensional<sup>241</sup>, e têm uma maior rigidez que a madeira maciça (Kolb, 2008, p. 120) (TISEM, 2012). Esta elevada rigidez estrutural, conduz a uma reduzida deformabilidade das estruturas quando sujeitas a acções horizontais. Em relação às soluções convencionais, as forças de inércia são também menores pela maior leveza da madeira (TISEM, 2012), embora no universo da construção em madeira só o sistema de paredes pesadas de toros apresentará um maior peso global. As suas características adequam-se principalmente a soluções de construção em altura e elementos em consola, amplas lajes de pavimento, fachadas completas, e paredes com vários pisos (Karacabeyli & Douglas, 2013).

As ligações entre os diferentes elementos da estrutura são efectuadas com recurso a elementos metálicos (pregos, parafusos, chapas, cabos, etc.). Em caso de incêndio, com o aumento da temperatura, as características de resistência e rigidez dos ligadores degradam-se, pelo que se deve sempre que possível prever a sua protecção ou o seu embutimento na

<sup>240</sup> A cola foi testada segundo a norma DIN68141 e aprovada para a produção de elementos de construção estrutural de acordo com a DIN 1052 e a EN 301 (KLH UK, 2013b).

<sup>241</sup> As variações dimensionais dos painéis são desprezáveis.



337

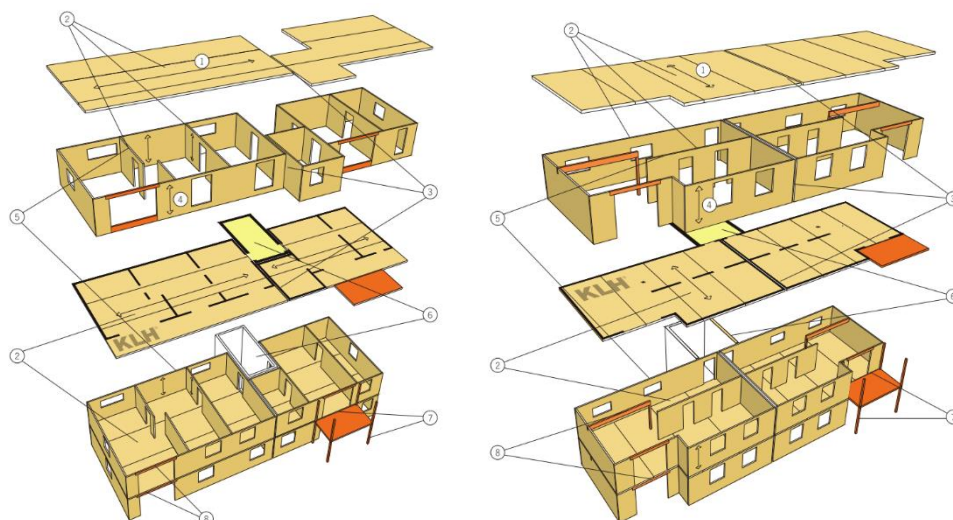


Fig. 295 - Variação da aplicação dos painéis de pavimento e tecto em apartamentos (KLH, 2011).

### 3.4.1.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS - PAINÉIS CLT

As características estruturais dos painéis dependem de cada fabricante pelo que devem ser consultadas as informações técnicas fornecidas relativamente a cada componente. Os painéis da KLH têm três a oito estratos ortogonais compostos com lamelas (com espessuras de 10 a 40mm) de espécies resinosas, das classes de resistência C24 (>90%) e C16 (<10%) colados com adesivo de Poliuretano. Para fins estruturais, a direcção das fibras resistentes da madeira num painel X-LAM deve ser considerada como a direcção das lamelas na camada superficial do painel (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

Os painéis são executados com estratos de lamelas, secas em estufa e compostas por ligação de entalhes múltiplos, dispostas em 3, 5, 7 ou mais estratos (TISEM, 2012), e têm uma densidade dependente das espécies utilizadas nas lamelas, com uma média de 480 Kg/m<sup>3</sup>. A espessura normalizada varia entre 57 e 300mm, podendo ir até aos 500mm a pedido. As composições normalizadas dos estratos são as seguintes (KLH UK, 2013b): com 3 estratos - 60mm, 63mm, 78mm, 90mm, 94mm, 98mm, 102mm, e 108 mm; com 5 estratos - 95mm, 101mm, 117mm, 125mm, 128mm, 146mm, 158mm, 162mm, 170mm, e 182 mm; com 7 estratos - 202mm, 226mm, e 256 mm. As dimensões máximas dos painéis são 16,50m no comprimento e 2,95m na largura (KLH Massivholz GmbH, 2013c). As espessuras de cada camada dos painéis X-LAM são variáveis (por exemplo para os painéis de 57mm são todas de 19mm, mas para os painéis de 72mm, as camadas exteriores são de 19mm e a interior é de 34mm) (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

Ainda tendo como referência a empresa KLH, as disposições das camadas de lamelas paralelas (s) são as seguintes: TT (*Top layers Transverse*) com camadas de topo alinhadas com a direcção transversal do painel para paredes; TL (*Top layers Longitudinal*) com camadas de topo alinhadas com a direcção longitudinal do painel para pavimentos e coberturas. Os painéis são dos seguintes tipos em função do número de camadas (s)<sup>242</sup> e da sua disposição (TT ou TL): 3-s TT, 3-s TL, 5-s TT, 5-s TL, 7-s TL, 7-ss TL (dupla camada longitudinal nas faces do painel), e 8-ss TL (dupla camada longitudinal nas faces e centro do painel) (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

<sup>242</sup> O índice s indica o número de camadas do painel: x-s representa x camada e x-ss representa camadas longitudinais duplas nas faces do painel. Se o painel tiver camadas de número par (e.g. 8 camadas), as duas camadas centrais também serão duplicadas na mesma direcção.



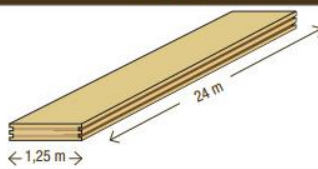
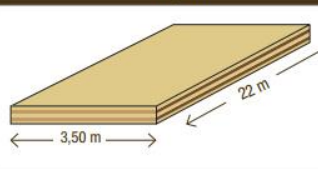
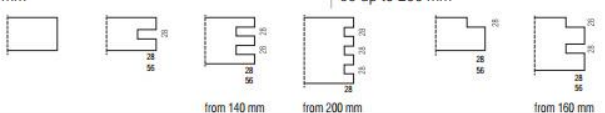
	BBS 125	BBS XL
		
<b>Construction</b>	cross laminated timber 3-, 5-, 7-ply	cross laminated timber 3-, 5-ply
<b>Format</b>	system format	large format
<b>Width   Length</b>	1,25 m   up to 24 m	maximum 3,50 m   up to 22 m
<b>Thickness</b>	60 up to 340 mm	60 up to 200 mm
<b>Longitudinal edges</b>		

Fig. 296 - Tipos de painéis da empresa Binderholz (Binderholz, 2015).

As larguras de produção para efeitos de cálculo são: 2400/2500/2720/2950mm. A deformação no plano do painel é negligenciável, a deformação perpendicular ao painel é de 0,24mm/m por % de humidade. A humidade dos componentes, obtida através de secagem em estufa, é de 12% ( $\pm 2\%$ ) (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

Há três tipos de qualidade visual para os painéis (KLH UK, 2013a): 1) Qualidade não visível (*NSI - non visual quality*) - utilizada para elementos estruturais ocultos, destinados a serem revestidos. Este tipo de painéis pode apresentar irregularidades nos padrões das juntas, furações de parafusos tapadas e manchas de cola; 2) Qualidade visível industrial (*ISI - industrial visual quality*) - a superfície não é lixada, podendo apresentar irregularidades nos padrões das juntas bem como pequenas manchas de cola. Estes painéis são geralmente recomendadas para superfícies à vista com baixa exigência de qualidade. Os topos das aberturas (e.g. cortes para vãos) têm um acabamento simplesmente serrado; 3) Qualidade doméstica (*WSI - domestic quality*) - a superfície é aplainada e pré-lixada. Os topos das aberturas/vazios têm um acabamento serrado. Estes painéis são utilizados como elementos estruturais deixados à vista. É um tipo de qualidade recomendado para espaços residenciais. Os painéis de qualidade doméstica podem ser deixados aparentes no interior, mas devem ser tratados com algum tipo de protecção superficial (cera ou óleo) ou eventualmente receber um tratamento ignífugo. (KLH UK, 2013b). O serviço de chanfrar ou lixar os topos pode ser realizado em obra ou pela KLH (mas com um custo adicional) (KLH UK, 2013a).

Os painéis podem ser montados em obra segundo os sistemas “platform” ou “balloon”, ou seja com as paredes exteriores de cada piso com a dimensão do pé direito ou com as paredes exteriores prolongadas por múltiplos pisos (cf. Figura 298). Na generalidade dos casos e na construção residencial de baixa altura em especial utiliza-se o primeiro processo, sendo o segundo utilizado mais em edifícios comerciais ou industriais. O primeiro caso facilita a construção e a execução das ligações entre pavimento e paredes, simplificando também a montagem. O segundo caso é adequado para espaços de pés-direitos mais amplos.

Normalmente as fundações das estruturas simples com painéis lamelados colados podem ser efectuadas através de um ensoleiramento geral com sapatas contínuas alinhadas pelas paredes.

A empresa Binderholz comercializa painéis “CLT BBS”, disponíveis nas variantes “BBS 125” e “BBS XL” (cf. Figura 296). Os painéis BBS 125 têm normalmente uma largura de 125cm, podendo ser fabricados com 24m de altura. Os painéis BBS XL têm em geral uma largura de



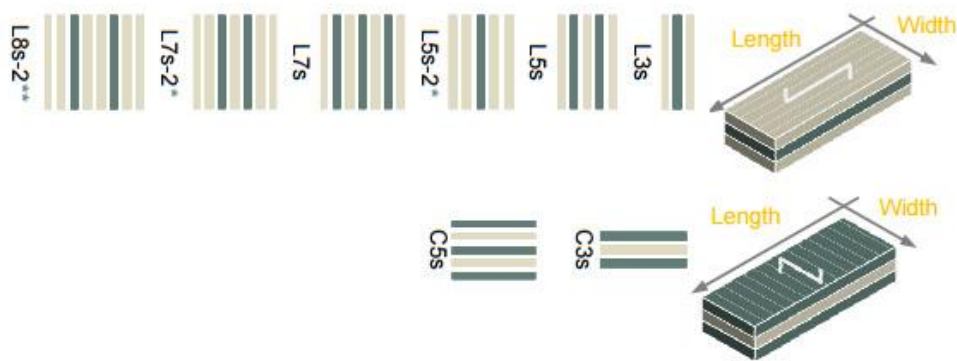


Fig. 297 - Tipos de painéis da empresa Stora Enso (Stora Enso, 2015).

3,50m e 22m de comprimento. Estão disponíveis em 3, 5 e 7 estratos, com espessuras entre os 60mm e os 340mm. São comercializados com, 12% +/-2% de humidade, secos em estufa. Existem três tipos de qualidade: AB, com uma face de qualidade “visível”, BC, com uma face de “qualidade industrial” e NH-C que é a qualidade “não visível”.

As gama de dimensões normalizadas disponibilizadas são os 0,625m e 1,25m de largura para o painel BBS 125 e 2,40m, 2,60m, 2,75m, 2,95m, 3,20m e 3,50m para os painéis BBS XL. As espécies utilizadas no BBS 125 são o Espruce, o Larício, e o Pinho suíço. Para os painéis BBS XL utiliza-se o Espruce. Os topos dos painéis podem ser planos ou com encaixes do tipo macho-fêmea. Os elementos de painel podem ser utilizados para elementos de painel, paredes, pavimento e cobertura (Binderholz, 2015).

A empresa Stora Enso comercializa também painéis CLT fornecendo dois tipos de painéis, os do tipo C e os do tipo L, com dimensões até 2,95m por 16m (cf. Figura 297). Os painéis C têm as lamelas dos estratos superficiais perpendiculares à maior dimensão enquanto nos painéis L essas lamelas são paralelas à maior dimensão. Os painéis C têm espessuras entre os 60mm e os 160mm e entre 3 a 5 estratos (os painéis designados por C3s por exemplo têm 3 estratos de 20mm cada). Os painéis do tipo L têm espessuras entre os 60mm e os 320mm e uma composição entre 3 a 8 estratos. Apresentam-se três qualidades visuais: “não visível”, “industrial” e “visível”, havendo ainda a opção de se escolher painéis com um acabamento adicional com uma camada superficial de Pinho, Larício, Abeto ou Pinho Suíço (Stora Enso, 2015).

#### 3.4.1.4 PAVIMENTOS - PAINÉIS CLT

O pavimento térreo será normalmente constituído por uma laje em betão, à qual são ancorados os painéis. Os pavimentos intermédios podem ser aplicados com a mesma lógica de uma laje fungiforme, com possibilidade de corte de vazios para ductos e caixas de escadas ou elevadores, admitindo apoios descontínuos (TISEM, 2014). Os painéis utilizados em pavimentos e coberturas têm os estratos superiores e inferiores com as lamelas orientadas na direcção longitudinal (designados por TL), sendo normalmente apoiados nos topos das paredes.

As espessuras de pavimentos a adoptar nos projectos podem apenas ser determinadas com base em análise estática, no entanto, para moradias uma espessura de 140mm é normalmente suficiente enquanto para edifícios residenciais até quatro pisos, o painel adequado varia entre 140mm e 182mm. Uma das decisões principais de projecto relativamente ao pavimento reside na orientação e dimensão dos painéis, a qual dependerá do tipo de apoios que as compartimentações interiores podem proporcionar (cf. Figura 295). Os painéis podem funcionar como vigas contínuas ao longo das várias paredes da construção

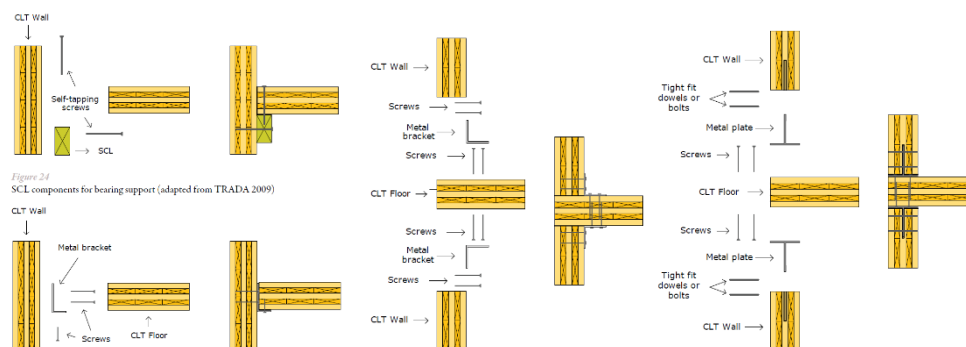


Fig. 298 - Ligações de parede e pavimentos: Sistema de paredes contínuas; Sistema de plataforma e Sistema de plataforma com ligações ocultas (Karacabeyli & Douglas, 2013).

num sentido longitudinal, ou no sentido transversal (relativamente ao maior vão e dependendo das dimensões limite em causa) (KLH, 2011). Apenas como indicação para pré-dimensionamento de soluções de moradias, os vãos entre apoios devem ter cerca de 4,00m, devendo evitar-se apoios simples, ou seja é preferível que um painel de pavimento ou tecto tenha três apoios em vez de apenas dois.

A necessidade de efectuar juntas entre painéis exige detalhes específicos fornecidos por cada fabricante. A KLH fornece indicações com detalhes tipo a adoptar quando a junta é efectuada em diferentes condições: em juntas na direcção da flexão, com painéis de espessura média, reduzida e grande (cf. Figuras 299, 300 e 301) e em juntas transversais (cf. Figura 301).

#### 3.4.1.5 PAREDES - PAINÉIS CLT

Quando se utilizam paredes exteriores com revestimentos de madeira e isolamentos flexíveis (imagem a, da figura 302), a KLH recomenda a utilização de duas camadas de isolamento para melhorar a estanquidade através da cobertura das juntas. As duas camadas de isolamento serão aplicadas entre estruturas de sarrafos dispostas em direcções cruzadas. No caso de exigências de protecção ao fogo mais restritivas recomenda-se utilizar lã de rocha como isolamento. Se o revestimento da fachada for pesado, a estrutura de sarrafos deve ser aparafusada com os parafusos num ângulo superior a 90°.

É necessário vedar as várias juntas entre componentes para garantir a estanquidade da fachada. Entre a base de betão, a travessa de base e o painel de fachada deve-se efectuar a vedação da junta e sobre ela, na zona de risco de salpico de água, deve ser colocada uma placa de isolamento do tipo XPS. Sobre o isolamento térmico da parede deve ser colocada uma tela estanque (à água e à entrada de ar). Quanto mais abertas forem as juntas do acabamento final da fachada mais importante será o papel desempenhado por esta camada estanque. Se as juntas dos revestimentos de acabamento exterior forem abertas, deve-se ter em atenção também o efeito dos raios UV (KLH Massivholz GmbH, 2012).

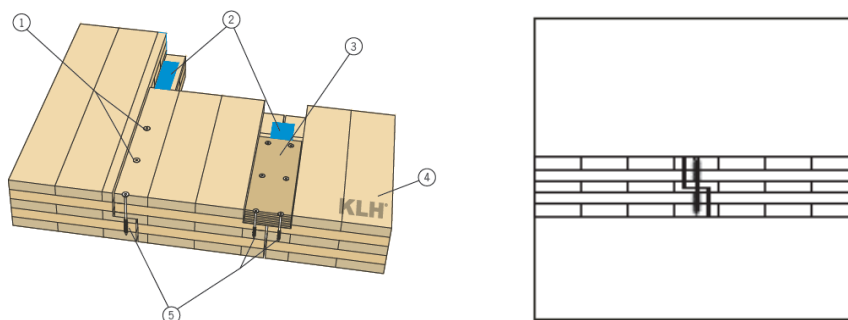


Fig. 299 - Junta em Z coberta com fita betuminosa se for exigida estanquidade ao ar (fogo, fumo). Um tipo de junta alternativa pode ser executada com uma régua de contraplacado inserida num rebaixo realizado no topo do painel (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

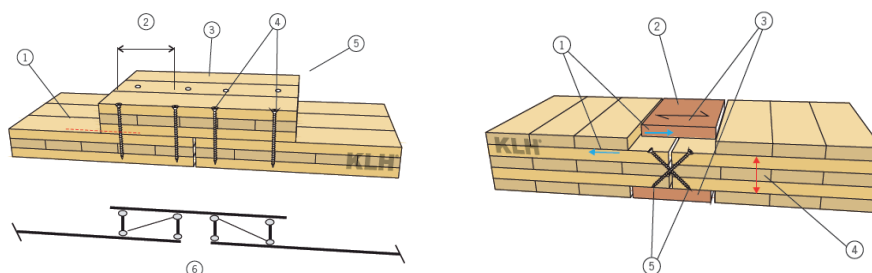


Fig. 300 - a) Caso de junta resistente à flexão, para painéis de menor espessura; b) Caso de junta resistente à flexão, transversal à direcção principal dos esforços (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

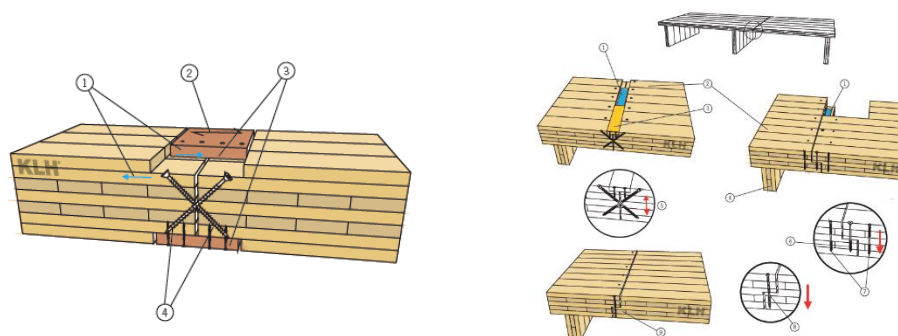


Fig. 301 - a) Caso de juntas resistentes à flexão para painéis de maior espessura com dupla camada; b) Possibilidades de juntas com e sem entalhe (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

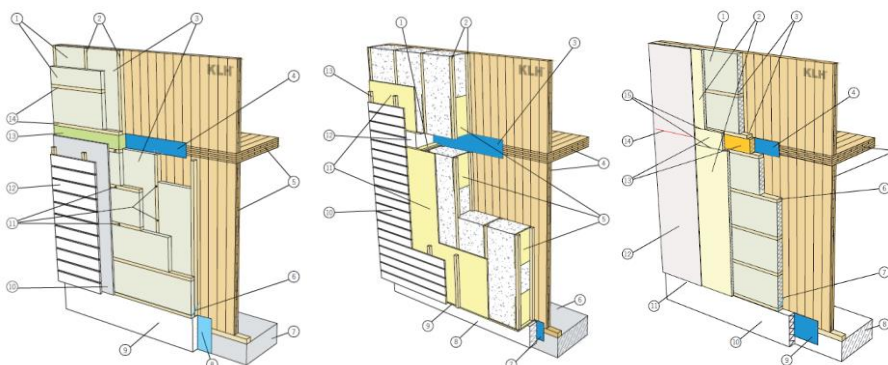


Fig. 302 - Soluções de paredes exteriores: a) Revestimento de madeira e isolamento flexível em duas camadas com juntas cobertas; b) Isolamento de celulose injectado com sectores definidos por uma estrutura de sarrafos e placas de OSB; c) Fachadas rebocadas com uma camada de isolamento térmico (KLH Massivholz GmbH, 2012).

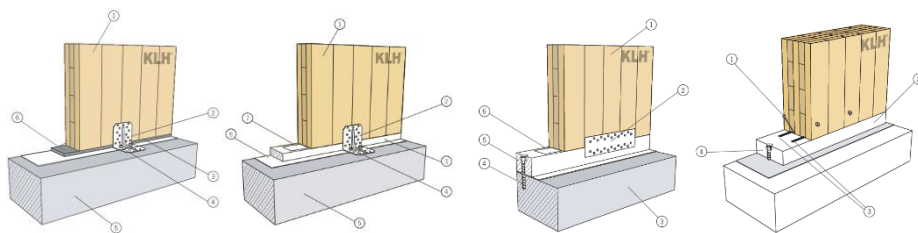


Fig. 303 - Base das paredes exteriores: a) Sem travessa de base; b) Com uma travessa de base de madeira de reduzida espessura; c) Com uma travessa de base de madeira de maior espessura; d) Painéis de espessuras maiores (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

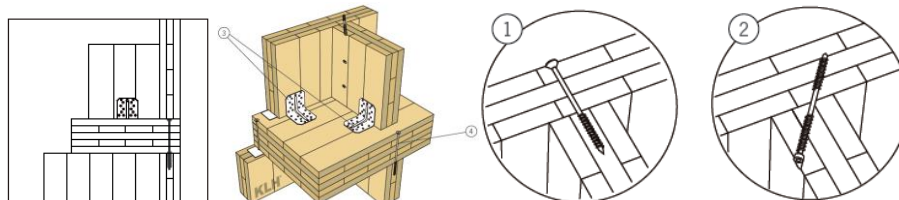


Fig. 304 - Parede exterior com ligação a parede interior e pavimento intermédio (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

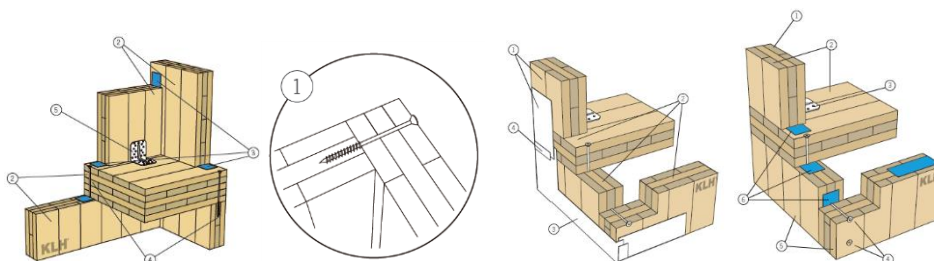


Fig. 305 - Ligação entre paredes exteriores e pavimento intermédio (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

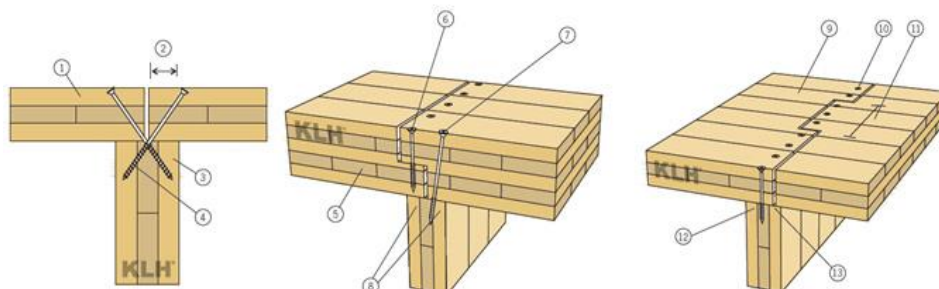


Fig. 306 - Parede contínua com ligação a pavimento de madeira (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

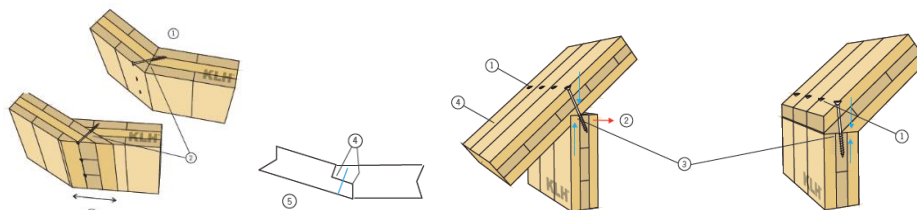


Fig. 307 - a) Paredes com ligações diferentes de 90°. b) Parede exterior com ligação a cobertura inclinada (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

Quando se utilizam paredes exteriores com isolamento de celulose injectado (cf. imagem b, da figura 302), a KLH recomenda que os vazios que recebem o isolamento sejam delimitados por uma estrutura de sarrafos (uma estrutura de sarrafos de 50mmx50mm será suficiente), fechada parcialmente com painéis OSB (podendo deste modo a parede ser também pré-fabricada). Os painéis OSB colocados na perpendicular à fachada, entre sectores de isolamento não devem ser contínuos de modo a não reduzir o valor U e para evitar as pontes térmicas. A base da camada de isolamento deverá ser também em OSB. No plano vertical que fecha a camada de isolamento devem ser instalados painéis de OSB, sobre os quais se montam os sarrafos de suporte do revestimento da fachada (KLH Massivholz GmbH, 2012).

No caso de fachadas rebocadas a KLH sugere uma solução com a instalação de isolamento flexível (cf. imagem c, da Figura 302), utilizando sarrafos intermédios sobre os painéis. Os sarrafos devem ser dispostos de acordo com exigências da estrutura uma vez que a superfície rebocada e a sua base são pesadas, devendo-se contar também com a acção de sucção do vento. Sobre a camada de isolamento coloca-se a camada de base do reboco. As juntas entre painéis e pavimento intermédio, bem como a protecção dos topos da camada rebocada (com perfis adequados) devem estar em consonância as regras prescritas pelo fabricante do sistema de reboco. Os parafusos devem ser colocados em ângulo superior a 90° devido ao peso da camada de suporte do reboco. No caso de se utilizar um sistema de fachada prefabricado, deve-se colocar um sector de isolamento e de base de reboco na zona de junção dos painéis de parede com o pavimento intermédio, para garantir a cobertura das juntas dos painéis CLT. Quando se recorre a este sistema devem prever-se juntas de dilatação e assentamento na zona de intersecção do painel de pavimento com as paredes. (KLH Massivholz GmbH, 2012).

As paredes podem ser ligadas à base de betão de diversas formas (cf. Figura 303) (KLH Massivholz GmbH, 2013b): a) directamente, sobre o betão com uma betonilha de regularização de baixa retracção, sendo a ligação ao betão realizada por intermédio de ligadores metálicos em “L”; b) com uma travessa de base de madeira tratada de reduzida espessura, devendo a travessa de base deve ser em Carvalho ou Larício sobre uma protecção contra a humidade ascensional e com uma fita betuminosa para fazer a junta com o painel; c) com uma travessa de base de madeira de maior espessura, devendo utilizar-se uma placa perfurada, ligando o painel à travessa de madeira. A travessa será aparafusada ao betão com parafusos para transmissão dos esforços de corte; d) com painéis de espessuras maiores sobre travessas de base, sendo neste caso colocadas sobre a travessa duas linhas de fita betuminosa selante e o painel aparafusado com parafusos totalmente roscados, na diagonal.

Os painéis KLH são considerados como camadas estanques quando forem utilizados pelo menos painéis de 5 estratos de qualidade não visual ou em paredes de qualidade visual industrial, em painéis de 3 estratos. Nestes casos não será necessário instalar barreira retardadora de vapor (KLH Massivholz GmbH, 2012). Devem no entanto prever-se sempre as selagens entre painel de parede e base (ou travessa de base) e entre a base e o betão do piso térreo.

Quando as paredes interiores são ligadas às paredes exteriores (cf. Figura 304), deve ser realizado o aparafusamento a partir do exterior com parafusos na perpendicular ou do interior com parafusos na diagonal. O pavimento sobre o qual assentam as paredes exteriores e interiores deve ser fixado aos painéis com parafusos na vertical. A ligação das paredes interiores e exteriores ao pavimento são feitas através de ligadores em L (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

Os painéis das paredes exteriores são unidos entre si (cf. Figura 305) com junta a topo, ligados por parafusos e selados com fitas betuminosas. As fitas de vedação betuminosas devem ser instaladas em todas as juntas entre painéis, a não ser que uma tela pára-vapor ou semelhante seja instalada no exterior. As ligações entre paredes inferiores e pavimentos suspensos devem ser realizadas com parafusos auto-roscantes, sendo as ligações entre paredes superiores e pavimentos inferiores efectuadas através de ligadores metálicos em L (KLH Massivholz GmbH, 2013b).



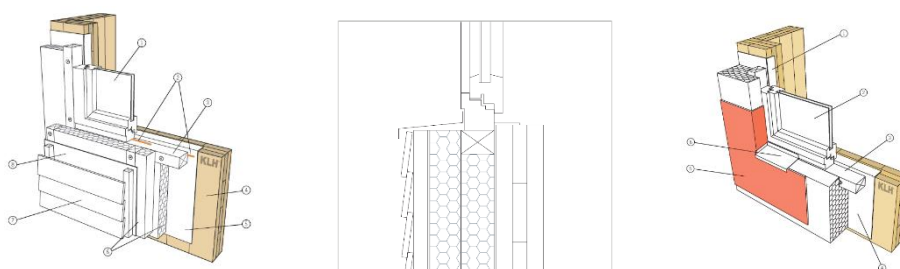


Fig. 308 - a) Janela e fachada com perfis de madeira e caixa-de-ar; b) Janela e fachada com isolamento e reboco (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

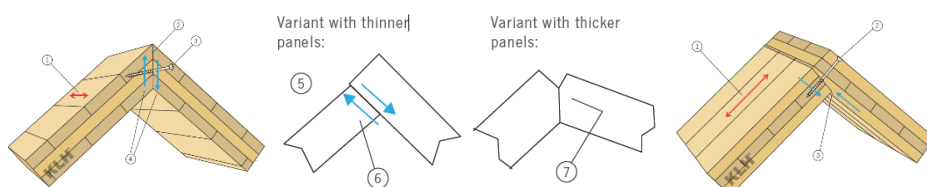


Fig. 309 - Junção de painéis de cobertura (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

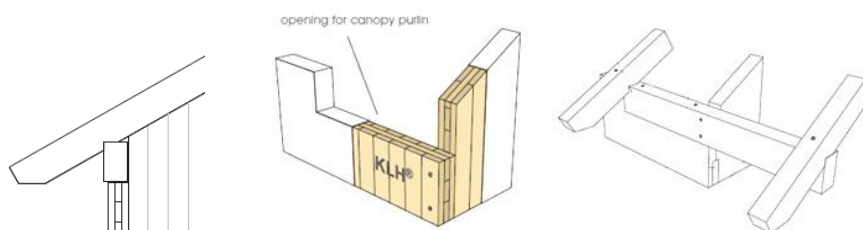


Fig. 310 - Balanço da cobertura na empena (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

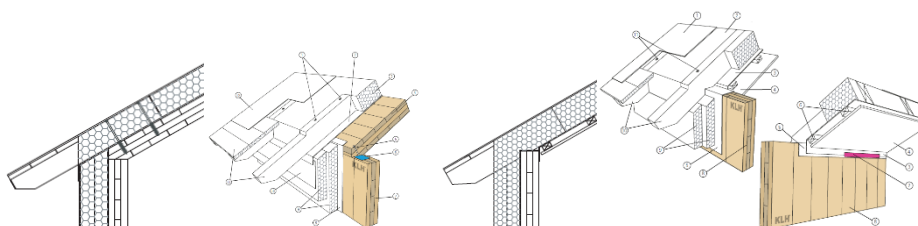


Fig. 311 - Balanços para coberturas inclinadas (KLH Massivholz GmbH, 2012).

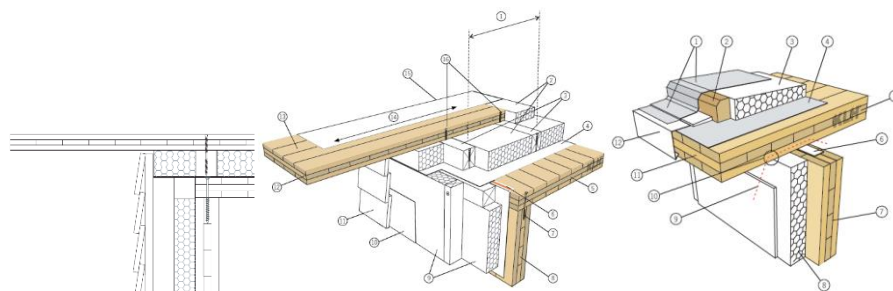


Fig. 312 - Balanços para coberturas planas (KLH Massivholz GmbH, 2012).

Na distribuição dos painéis de pavimento pode ser necessário efectuar uma junta sobre uma parede (cf. Figura 306) para responder a exigência de acústica (garantindo a descontinuidade no painel de tecto/pavimento). Neste caso, a superfície de apoio (na parede inferior) deve ter pelo menos 4cm, sendo este tipo de junta de painel no topo de uma parede apenas possível no caso de as foças horizontais consideradas serem mínimas (também as ligações com parafusos cruzados apenas são recomendáveis quando os esforços sobre a parede forem mínimos). Uma junta em Z permite a transmissão de esforços de painel para painel e de painel para a parede, facilitando o aparafusamento. No caso de painéis de reduzida espessura deve-se recorrer à técnica do recorte desencontrado dos dois painéis, permitindo

assim ter linhas de parafusos em ambos os painéis de pavimento (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

Para encontros de paredes com ângulos pouco pronunciados (cf. Figura 307) a eficácia dos parafusos é muito limitada porque estes apenas transmitem esforços na direcção das juntas, devendo por isso ser necessário elaborar ligações especiais, com entalhes. Deve-se notar ainda que os topos chanfrados apenas podem ser produzidos normalmente até aproximadamente 20 cm de chanfro. (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

Há duas possibilidades principais de disposição dos painéis de cobertura no encontro com as paredes (cf. imagem b, Figura 307). No primeiro caso, a cobertura projecta-se para o exterior devendo a superfície de contacto que realiza a transmissão dos esforços ter um ângulo perpendicular à direcção das forças. No segundo caso, a cobertura termina à face da parede exterior. As superfícies de contacto dos painéis devem neste caso ser dispostas na perpendicular à acção das cargas principais. Os parafusos devem colocar-se a partir da face da cobertura de modo a absorverem os esforços do peso da construção e da sucção do vento.

A KLH propões que a instalação dos vãos de janela seja realizada através de um pré-aro aparafusado ao exterior do painel (cf. Figura 308). Antes deste pré aro, no caso de ser instalada um abarreira de vapor, esta deve dobrar sobre os painéis CLT. No caso de paredes com caixa-de-ar e revestimento com juntas abertas (por exemplo régua de madeira), podem utilizar-se duas camadas de isolamento térmico (com cobertura de juntas). No caso de uma fachada rebocada poderá ser utilizada apenas uma camada de isolamento térmico (KLH Massivholz GmbH, 2012).

As ligações entre pavimento e parede (cf. Figura 298), podem por razões de ordem arquitectónica ser ocultas. Este tipo de ligações têm algumas vantagens do ponto de vista da resistência ao fogo em relação às ligações convencionais em L, mas são mais exigentes em termos de execução e de custos (Karacabeyli & Douglas, 2013).

#### 3.4.1.6 COBERTURA - PAINÉIS CLT

Os painéis de cobertura são do mesmo tipo dos utilizados nos pavimentos. Nos casos em que os painéis são montados com a direcção principal dos esforços paralela à cumeeira (cf. Figura 309), a junção deve ser efectuada a meia madeira<sup>243</sup>. As ligações aparafusadas transmitem principalmente esforços na direcção longitudinal. No entanto, se os painéis forem pouco espessos pode não ser possível transferir forças através de parafusos. Neste caso, os painéis devem ser ligados topo-a-topo. No caso de painéis mais espessos, propõe-se a execução de uma ligação chanfrada (KLH Massivholz GmbH, 2013b). Quando os painéis são montados com a direcção principal perpendicular à cumeeira (cf. Figura 309), os parafusos transferem principalmente os esforços numa direcção perpendicular, assim a execução de uma área de encaixe permite uma ligação mais eficaz (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

Quando a solução de cobertura é realizada com painéis CLT e se pretende um balanço dos beirados, uma solução possível para garantir uma maior continuidade do isolamento térmico (cf. Figura 311) consiste em montar caibros sobre a superfície do painel de cobertura com isolamento térmico entre eles. Nos casos em que se utilizam coberturas realizadas com vigotas ou vigas, estas apoiam directamente no topo das paredes. Se houver necessidade de efectuar balanços também nas empenas (cf. Figura 310), estes podem ser efectuados através

<sup>243</sup> O corte de topo oblíquo dos painéis só pode ser feito normalmente até 20cm, sendo os cortes maiores muito dispendiosos.



de recortes onde se insere uma viga de suporte das vigotas em consola (KLH Massivholz GmbH, 2012).

O balanço das coberturas planas pode ser efectuado de dois modos. O primeiro modo visa garantir a continuidade do isolamento térmico exigindo por isso a instalação adicional de um painel CLT que perfaz a consola sobre as camadas de isolamento. A superfície do painel de balanço ancorada ao painel de base da cobertura deve estender-se para o interior da construção pelo menos 50% da dimensão balanceada. A espessura dos painéis resultará dos cálculos da situação específica, mas nos casos de balanços de canto, os painéis devem ter pelo menos 5 estratos. O intradorso do painel pode ficar à vista se se optar pela qualidade visual. A projecção da cobertura pode também ser efectuada através da continuidade do próprio painel (cf. Figura 312), devendo neste caso ter-se o cuidado de combater a fragilidade da junta entre os dois painéis de parede e de cobertura através de uma selagem apropriada (KLH Massivholz GmbH, 2012).

#### 3.4.1.7 OUTROS DETALHES - PAINÉIS CLT

Outros detalhes notáveis e soluções especiais encontram-se por exemplo nos detalhes de muretes de coberturas planas e de vãos zenitais, varandas e zonas húmidas. No caso de muretes de fachada (cf. Figura 313) ou em guardas de coberturas visitáveis (cf. Figura 314), a estrutura de suporte do revestimento de fachada deve subir para além da cobertura até à cota pretendida. O lado interior pode ser revestido por exemplo com um painel OSB (15mm) sobre o qual dobra o sistema de revestimento da cobertura cujas telas rematam sob um capeamento em aço no topo do murete (KLH Massivholz GmbH, 2012). Para muretes de vãos zenitais ou chaminés de desenfumagem (cf. Figura 315), pode recorrer-se a sistemas leves independentes do sistema de painéis, garantindo assim uma menor complexidade no sistema de protecção aos painéis de madeira, reduzindo-se também os pontos frágeis.

As soluções de varanda (cf. Imagem b da Figura 315) obrigam à projecção do painel de pavimento para o exterior proporcionando um ponto frágil na junção dos dois painéis (do ponto de vista da estanquidade). A KLH propõe um pormenor em que é colocada uma barreira entre o interior e exterior, proporcionando uma diferença de cota (rebaixando o exterior). O piso da varanda (inclinado para o exterior) terá um sistema de impermeabilização que inclui isolamento térmico sobre o qual se aplica uma estrutura que recebe um *deck*. Os remates das telas e rufos fazem-se no topo da varanda através de um perfil aparafusado. O intradorso do painel pode ficar visível, com um painel de qualidade visível, mas deve-se estudar a sua repercussão do ponto de vista do comportamento térmico (KLH Massivholz GmbH, 2012) e a fragilidade do ponto de vista da durabilidade e estanquidade.

Nos compartimentos sujeitos a funções que implicam a utilização de água e concentrações elevadas de humidade deve prever-se a impermeabilização geral das superfícies e juntas (cf. imagem c da Figura 315). Ao nível do pavimento deve ser prevista uma tela ou um sistema de impermeabilização que deverá ser dobrado nas paredes e para o interior das couretes. As juntas entre azulejos e as juntas de louças sanitárias com a parede devem ser preenchidas com isolamento e requerem inspecções e manutenções periódicas. Deve haver uma camada impermeabilizante sob os azulejos e sobre o painel (hidrófugo) que os vai receber. Finalmente, a KLH recomenda que não se aparafusem as tubagens de pavimento com braçadeiras ligadas ao pavimento (KLH Massivholz GmbH, 2012).

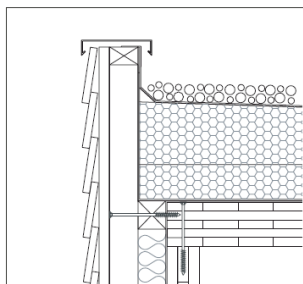


Fig. 313 - Muretes de coberturas planas (KLH Massivholz GmbH, 2012).

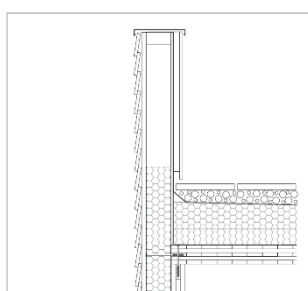
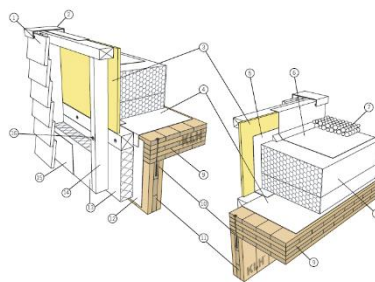


Fig. 314 - Murete com guarda mão para cobertura visível (KLH Massivholz GmbH, 2012).

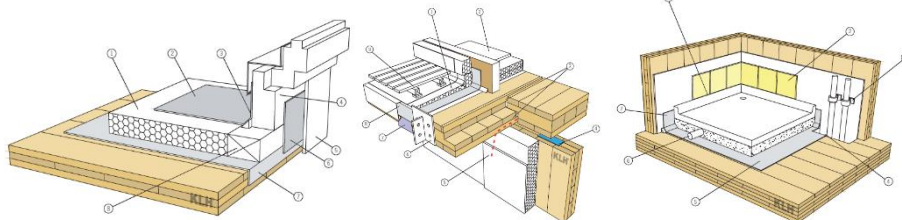
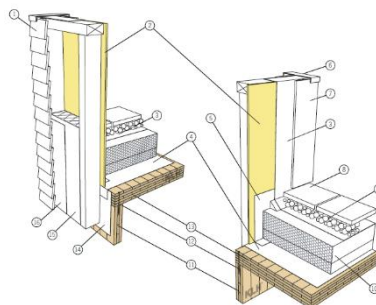


Fig. 315 - Muretes de vãos zenitais; b) Varandas; c) Zonas húmidas (KLH Massivholz GmbH, 2012).

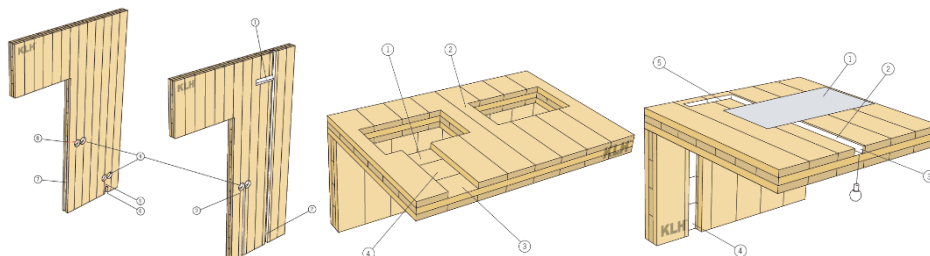


Fig. 316 - Roços verticais; b) roços em painéis de tecto; c) em situações de intradorso visível (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

#### 3.4.1.8 INFRAESTRUTURAS - PAINÉIS CLT

As opções de abertura de roços (Figura 316) são muito mais limitadas para painéis em que se pretende a estrutura de madeira visível, devendo as passagens de infraestruturas ser previstas para zonas que serão posteriormente revestidas. Os roços verticais apenas devem ser realizados na direcção do estrato superficial e na profundidade da primeira lamela, sendo os roços transversais apenas possíveis dentro de determinados limites e com análise estrutural obrigatória. As aberturas para roços devem prever uma distância mínima de 10 cm ao limite dos painéis. As aberturas para tomadas dependem das cargas suportadas pela parede, podendo no entanto ser realizadas com segurança pequenas aberturas nas partes inferiores dos painéis verticais (na base) para passagem de cabos entre compartimentos (KLH Massivholz GmbH, 2013b). No mesmo painel, devem evitar-se roços em faces opostas, sendo recomendável nestes casos uma distância de um metro entre eles para não colocar em causa o comportamento previsto (Jorge, 2013). No caso de aberturas para couretes em painéis de tecto (imagem b, figura 316), se estas forem realizadas numa direcção não

paralela à direcção do vão estrutural, deverão ser interrompidas. As aberturas contínuas apenas são possíveis com painéis mais espessos (KLH Massivholz GmbH, 2013b). No caso de painéis de cobertura, apenas se podem abrir roços na direcção das lamelas do estrato da superfície (ou seja, a direcção principal de flexão) (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

### 3.4.2 EXIGÊNCIAS TÉCNICAS - PAINÉIS CLT

No caso da KLH, os painéis possuem uma Aprovação Técnica Europeia (ETA 06-138 - European Technical Approval) com base na qual é colocada a marcação CE nos componentes comercializados (TISEM, 2012). Os painéis da KLH possuem também uma declaração ambiental de produto<sup>244</sup> (EPD), permitindo descrever a eficiência ambiental do processo de fabrico através duma análise de ciclo de vida do tipo "*cradle to gate*". Os aspectos mais importantes do ponto de vista ambiental são os seguintes: não existe ameaça directa ou indirecta para a água, ar, solo ou saúde humana; é possível a valorização energética após a vida útil da estrutura; no final da vida útil da estrutura é também possível e recomendada a sua reutilização; o potencial de aquecimento global é negativo (-830Kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> de painel).

A legislação Portuguesa contém já matérias que podem beneficiar em grande parte o uso dos painéis CLT em detrimento de outras escolhas. O Código dos Contractos Públicos (DL n.º 18/2008 de 29 de Janeiro) introduz critérios ambientais para a aquisição de bens pelo Estado que podem aumentar a oportunidade e o valor de mercado dos painéis CLT. A Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas (R.C.M. n.º 65/2700 de 23 de Agosto) estabelece as regras para a identificação e escolha de produtos e matérias-primas com melhor desempenho ambiental, com grande ênfase para a concepção e construção de Obras Públicas. Os critérios ambientais são: a eficiência energética, a redução de gases com efeito de estufa; a prevenção da produção de resíduos; e a minimização dos impactes directos e indirectos na conservação da natureza e da biodiversidade (TISEM, 2012).

O Decreto-lei n.º 46/2008 de 12 de Março estabelece o Regime das Operações de Gestão de Resíduos resultantes de Obras ou Demolições de Edifícios e prevê a adopção de metodologias e práticas que minimizem a produção e a perigosidade dos resíduos de construção, maximizando ao mesmo tempo a sua valorização. O sistema construtivo com painéis é um processo com "estaleiro seco" com reduzida produção de resíduos, estando por isso em concordância com as práticas preconizadas na legislação (TISEM, 2012).

#### 3.4.2.1 ESTABILIDADE - PAINÉIS CLT

Algumas empresas de fabrico de painéis fornecem tabelas de pré-dimensionamento ou programas que permitem obter as espessuras de painéis (Ahvenainen, 2013) em função das condições do projecto. Para o cálculo e dimensionamento, para além do Eurocódigo 5, a norma EN 16351 "Timber structures - Cross laminated timber - Requirements" define os requisitos para o projecto e dimensionamento com painéis CLT com madeiras de coníferas e Choupo para uso nas classes de serviço 1 ou 2.

A construção CLT normalmente é realizada no sistema de plataforma (piso a piso), pelo que no caso de sismo, os painéis ficam praticamente intactos, dando-se as deformações nas ligações de aço, podendo ser criado um efeito de travamento através dos vários painéis de compartimentação interior ortogonais (Karacabeyli & Douglas, 2013). Os painéis de pavimento e as paredes são utilizados como diafragmas para efeito de resistência aos

<sup>244</sup> Registada no IBU (Institute for the Built Environment) com o n.º EPD-KLH-2012111-E.

esforços horizontais. Nos locais em que a segurança ao sismo tem que ser considerada, os painéis CLT oferecem uma boa resposta devendo ser os utilizados ligadores de aço em L aparafusados aos painéis de parede e ao pavimento. O comportamento ao sismo do sistema foi testado num modelo de edifício de 3 e 7 pisos no Japão<sup>245</sup>, submetido a uma simulação de vários sismos (incluindo um com magnitude de 7.2), não se verificando deformações residuais, encontrando-se uma máxima deformação de 287mm no topo (Timber Development Association, 2012). As ancoragens de tensão (*tension anchorages*) apenas são exigidas em casos muito raros ou para construções muito arrojadas.

As ligações entre painéis podem ser efectuadas através de elementos ligadores (*splines*) de derivados de madeira colocados pelo exterior ou pelo interior, ou por juntas a meia madeira aparafusadas estando ainda previstas juntas de topo entre painéis de paredes. Grandes esforços de tensão, com exigência de ancoragens, normalmente obrigam a soluções especiais em aço (KLH Massivholz GmbH, 2013a). Para a definição de ligadores, chapas e parafusos, bem como as respectivas distâncias, no caso dos produtos KLH, deve-se seguir a respectiva ETA. Em regra todas as dimensões e distâncias devem ser calculadas, mas para projectos de pequena dimensão pode prever-se a utilização de parafusos auto-perfurantes com diâmetro de 8mm, assumindo uma distância média de 20cm a 30cm entre parafusos e uma distância de 100cm a 150cm entre chapas angulares (BMF 105). São ainda necessárias duas fixações metálicas de expansão M8 para cada chapa angular quando se trata de ancoragem em betão (KLH Massivholz GmbH, 2013a).

Os lintéis das portas e janelas podem ser dimensionados efectuando o cálculo para vigas de madeira maciça com as dimensões das lamelas dispostas na direcção do lintel. Como regra, pode ser assumido que “a suposta viga” é apoiada nos dois extremos. Se o pilar/parede confinante for mais estreito que a altura da viga, deve assumir-se que existe um apoio articulado (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

#### 3.4.2.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO - PAINÉIS CLT

O comportamento das estruturas baseadas em painéis maciços de madeira lamelada colada tem características especiais face à acção do fogo, devendo atender-se ao número de estratos e à sua disposição. O parâmetro de avaliação é a perda de secção calculada assumindo uma taxa de carbonização unidireccional. O Eurocódigo 5, estabelece taxas de carbonização de 0,65mm/min para elementos de madeira maciça ou lamelada colada e 1,0mm/min para painéis de contraplacado. Mas os documentos de Aprovação Técnica Europeia (ETA) dos painéis CLT estabelecem valores de 0,67mm/min para o primeiro estrato e 0,76mm/min para os seguintes (TISEM, 2012). Testes efectuados num edifício de três pisos construído com CLT (com paredes de 85mm e pavimentos de 142mm) demonstraram que a solução bloqueou a disseminação de um fogo e de fumo, com uma hora de duração, de um compartimento para os compartimentos adjacentes, mantendo a integridade estrutural dos painéis com camadas carbonizadas de 5mm a 10mm (Timber Development Association, 2012; Karacabeyli & Douglas, 2013). O guia de concepção do sistema CLT para a Austrália desenvolvido pela associação “Forest and Wood Products Austrália” considera que os painéis CLT são abrangidos no IBC pela mesma categoria dos componentes “*Heavy Timber*”, opostos à categoria dos componentes do sistema “*Light Timber Frame*” devido sua resistência ao fogo (Timber Development Association, 2012; Karacabeyli & Douglas, 2013).

<sup>245</sup> Teste realizado em E-Defense Laboratory em Miki como parte do SOFIE Project.

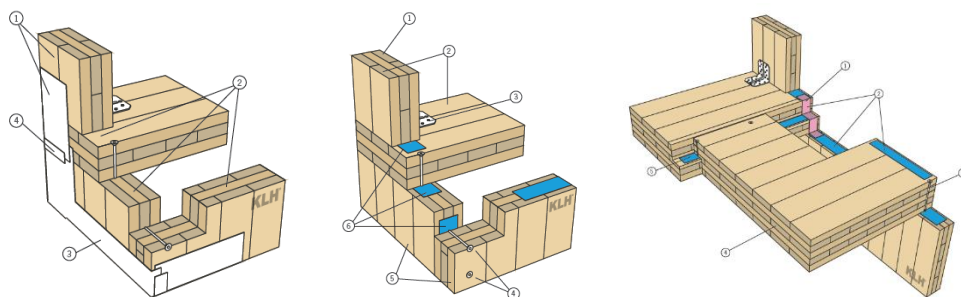


Fig. 317 - Soluções de estanquidade ao ar através de tela exterior e através de fitas betuminosas nas juntas de ligação entre painéis (KLH Massivholz GmbH, 2013b).

Se um estrato arde por completo, a rigidez do painel reduz-se em consonância. Painéis com 3 estratos têm geralmente uma resistência de 30 minutos (REI 30)<sup>246</sup>. Um painel de 5 estratos com uma espessura similar, geralmente tem um período de resistência de 60 minutos (REI 60), dependendo da carga a que está sujeito. No caso de paredes estruturais a combustão de ambos os lados deve ser tida em consideração. Neste caso é recomendado utilizar painéis de 5 estratos com o estrato superficial alinhado com a direcção longitudinal da parede (ou seja, na horizontal). Os estratos longitudinais não estruturais serão consumidos (como se de uma camada protectora se tratasse) e os estratos transversais estruturais manter-se-ão em grande parte íntegros. Assim, com um painel de espessura apropriada, pode ser obtida uma resistência ao fogo de 60 minutos ou até de 90 minutos. Os painéis de 5 estratos são em regra REI 60, sendo possível atingir resistências ao fogo mais longas através de cálculo, dependendo da espessura do painel (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

As ligações metálicas, tal como nos restantes sistemas, são pontos críticos porque em caso de incêndio, a condução rápida do calor pelo metal afecta as zonas de contacto com a madeira. Assim sendo os ligadores devem ser protegidos nas situações em que se pretende obter protecção contra a exposição ao fogo. Essa protecção pode ser executada com outros materiais, ou através de ligações ocultas e ainda com pinturas antifogo aplicadas nas ligações. Outro tipo de protecções utilizadas na construção de reticulados leves e nas estruturas de betão, como os selantes de juntas, as membranas, as betonilhas, e as espumas também têm aplicação com os painéis CLT (Karacabeyli & Douglas, 2013).

#### 3.4.2.3 ISOLAMENTO TÉRMICO E ESTANQUIDADE - PAINÉIS CLT

A condutibilidade térmica dos painéis CLT é 0,13 W/mK<sup>247</sup>. Segundo a TISEM, um painel de 95mm de espessura, sem isolamento satisfaz o desempenho mínimo requerido pelo RCCTE. Uma parede com isolamento térmico, devido à homogeneidade do material, permite soluções com coeficientes de transmissão térmica inferiores a 0,35W/m.°C. A integração de revestimento contínuo pelo exterior elimina as pontes térmicas planas reduzindo as pontes térmicas lineares<sup>248</sup>, sendo assim obtida e permitida uma espessura de parede menor que noutras soluções típicas (TISEM, 2012).

Em princípio os painéis CLT da KLH podem ser combinados com todos os materiais de construção disponíveis no mercado. Podem também ser usados diferentes materiais de isolamento como fibras de madeira, fibras minerais, celulose, etc., assim como diferentes

<sup>246</sup> (Resistance, Integrity, Insulation)

<sup>247</sup> Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ): 0,13W/(m2K); Calor específico: 1600 J/(KgK); Densidade ( $\rho$ ): 480Kg/m3; Massa Térmica: Painel de parede X-LAM: 40Kg/m2; Painel com uma camada de painel de gesso cartonado:  $\pm 45$ Kg/m2; Painel com duas camadas de painel de gesso cartonado:  $\pm 50$ Kg/m2

<sup>248</sup> A ponte térmica plana é uma heterogeneidade na da envolvente exterior. A ponte térmica linear corresponde à ligação de dois elementos exteriores ou em contacto com um espaço não útil.

materiais para fachadas ventiladas (KLH Massivholz GmbH, 2013b). Os painéis KLH tal como são utilizados normalmente com isolamento térmico exterior, resultam numa parede de aproximadamente 50Kg/m<sup>2</sup>, adquirindo uma massa térmica superior à construção com painéis reticulados. A KLH considera que os painéis CLT deveriam ser considerados, do ponto de vista das exigências térmicas como estrutura de peso médio em vez de estruturas leves (KLH UK, 2013). Os painéis exteriores exigem isolamento térmico para responder às exigências de conforto e poupança energética, mas em comparação com o betão ( $\lambda \pm 1.8\text{W/mK}$ ), a condutividade térmica da madeira ( $\lambda \pm 0.13\text{W/mK}$ ) é excelente. A empresa considera que o método preferencial de isolamento é a estratégia de camadas (duas camadas com sobreposição de juntas) uma vez que é uma medida eficaz na eliminação de infiltrações de ar e condensações. (KLH UK, 2013b).

A estanquidade de uma construção em painéis CLT depende da densidade dos painéis e da solução das suas juntas (KLH Massivholz GmbH, 2013c). As áreas críticas em relação à estanquidade são, para além da ligação entre painéis, os interfaces de construção como as janelas e as portas (KLH UK, 2013b). A introdução de fitas selantes betuminosas nas juntas entre os painéis visa melhorar não só a estanquidade ao ar mas também o comportamento térmico (Jorge, 2013). Os testes em painéis CLT (1000mmx1000mm) mostram que painéis de 3 camadas com qualidade visível industrial (designados como isi) e painéis de 5 camadas em qualidade não visível (designados como nsi) se comportam como painéis estanques à água (KLH Massivholz GmbH, 2013c). Se forem aplicadas membranas de impermeabilização no exterior das paredes as juntas não necessitam de fitas betuminosas de selagem (KLH Massivholz GmbH, 2013a). Por outro lado, se as juntas entre painéis estiverem convenientemente seladas (parede/tecto, tecto/parede, parede/parede, parede/janelas e portas, juntas te tecto) a construção pode dispensar uma camada adicional no exterior com tela de polietileno, desde que sejam utilizados painéis de 5 camadas de qualidade não visível ou painéis de 3 camadas de qualidade industrial visível. (KLH Massivholz GmbH, 2013a).

#### 3.4.2.4 ISOLAMENTO ACÚSTICO - PAINÉIS CLT

O isolamento acústico da construção deve ser assegurado através de camadas independentes de outros materiais no interior de dois painéis ou numa das faces de um painel. Normalmente utiliza-se um painel de revestimento assente numa estrutura em cujos vazios se introduzem materiais isolantes. Os pavimentos normalmente são isolados no intradorso através de um tecto suspenso com revestimento final, mas também podem incluir uma camada de revestimento em betão (que pode integrar uma solução de aquecimento radiante).

Os ruídos de percussão são um problema maior neste sistema, exigindo medidas como a instalação de tectos autoportantes, e fitas selantes (em poliuretano ou borracha). Uma medida adicional para evitar a transmissão de ruídos de piso para piso consiste no posicionamento não sobreposto das paredes entre diferentes pisos (Timber Development Association, 2012). Algumas soluções de paredes para melhorar o comportamento acústico incluem a colocação de uma camada de lã mineral entre dois painéis, com revestimentos de painéis de gesso, ou a colocação de duas camadas de isolamento de lã de rocha em ambas as faces de um painel. O comportamento dos pavimentos pode ser melhorado ainda com o uso de camadas de elementos alveolares (tipo *Fermacell*), com telas acústicas e coberturas de painéis de fibras de gesso (tipo *Fermacell*). Outra solução de protecção consiste na utilização de tectos falsos com suspensões acústicas, com os vazios preenchidos com materiais absorventes de som, como por exemplo a fibra de vidro (Karacabeyli & Douglas, 2013).

#### 3.4.2.5 DURABILIDADE - PAINÉIS CLT

Os painéis podem ser utilizados expostos nas classes de serviço 1 e 2 (ambientes com teor de água de equilíbrio inferior a 20%). Segundo a Aprovação Técnica do produto não se prevê a sua aplicação em Classe de serviço 3 (locais expostos directamente a ambiente exterior) (TISEM, 2012). Sob acção de grandes amplitudes térmicas a madeira pode sofrer fendilhação, sendo recomendado manter o teor de humidade ambiente acima dos 40%. Embora os painéis sejam normalmente utilizados com revestimentos de contacto com o exterior ou em contacto com ambientes interiores, deve ser estimada a classe de risco, e preparada a madeira em consonância (TISEM, 2012).

A durabilidade do sistema passa por utilizar as estratégias de concepção comuns aos outros sistemas incluindo, a drenagem, a secagem e o uso de materiais duráveis, especialmente na elaboração dos pormenores da envolvente, nas juntas entre paredes e cobertura, entre paredes e vãos, entre parede e pavimento e em mudanças de direcção em geral.

### 3.4.3 PROCESSOS - PAINÉIS CLT

#### 3.4.3.1 PROCESSOS DE FABRICO - PAINÉIS CLT

Os painéis KLH são produzidos nas fábricas KLH Massivholz GmbH na Áustria e Suécia, utilizando processos CNC (KLH UK, 2013b). Como foi referido no início, a colagem é realizada com adesivos de poliuretano. A cola é aplicada sobre toda a superfície, sendo a percentagem de adesivo de 0,5/m<sup>3</sup> e a pressão utilizada na colagem é de aproximadamente 50kN/m<sup>2</sup>, num processo que é patente da KLH (KLH UK, 2013b). O processo de produção contempla a transformação dos excessos e os resíduos de madeira em *pellets* de biomassa e a sua utilização para energia nas fábricas KLH Massivholz GmbH sendo o excesso vendido a uma unidade local CHP (Combined Heat and Power) (KLH UK, 2013b).

Se forem encomendadas em quantidade suficiente, é possível produzir painéis diferentes dos normalizados com resistências superiores. Como princípio geral, dadas as dimensões máximas de produção (16,50mx2,95m), apenas lâminas com 19mm, 34mm ou 40mm são utilizadas na direcção do comprimento do painel. Na direcção da altura do painel, apenas lâminas de 19mm, 22mm, 30mm ou 40mm devem ser utilizadas. A estrutura simétrica da composição do painel deve em qualquer dos casos ser mantida (KLH Massivholz GmbH, 2013c). Para obter a qualidade "*visible industrial quality*" ("*Insustrie-sicht=isi*") e a "*domestic quality*" ("*Wohnsicht*"=*wsi*) os painéis preferenciais são os TT com estratos superficiais de 19mm e 30mm. Os painéis TL devem ter estratos superficiais de 19mm e 34mm (KLH Massivholz GmbH, 2013c).

O fornecimento normalizado de painéis prevê o fabrico de até duas aberturas num painel para porta ou janela, 5 vazios até 60cm de diâmetro e 2 roços de infra-estruturas, todos os restantes pedidos implicam custos adicionais (KLH UK, 2013b). O prazo de entrega dos painéis KLH, a partir do momento em que se recebem os desenhos finais do Arquitecto e os cálculos de Engenharia, é normalmente de doze semanas. Esse tempo contempla seis semanas para a produção e revisão dos desenhos e seis semanas para a produção de painéis, entrega no local e organização da obra (grua e trabalhos). No caso de ser a KLH a fornecer os serviços de estabilidade, devem-se acrescentar 3 a 4 semanas (KLH UK, 2013b).

#### 3.4.3.2 SERVIÇOS - PAINÉIS CLT

Os serviços da KLH-UK incluem o projecto dos componentes e as ligações para a envolvente estrutural, devendo este ser utilizado para controlo e fiscalização da construção (KLH UK, 2013b). A KLH UK apresenta também uma análise de risco para efeitos de saúde e



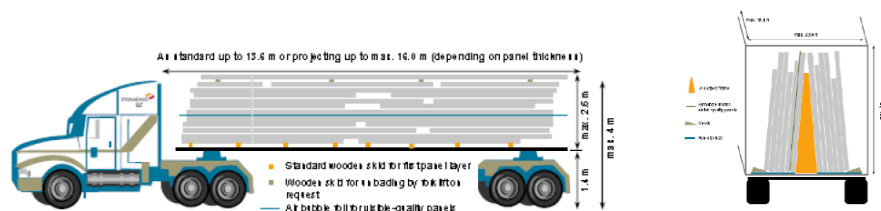


Fig. 318 - Soluções de transporte dos painéis na horizontal ou na vertical (Ahvenainen, 2013).

segurança nas seguintes áreas: trabalhos em altura, escoramentos temporários, suportes de pavimento (KLH UK, 2013b). A concepção do isolamento e da protecção ao fogo não estão incluídos nos serviços prestados pela KLH (KLH UK, 2013b).

A KLH UK trabalha com o empreiteiro geral no sentido de integrar o período de montagem no programa geral de construção da obra (KLH UK, 2013b). A empresa organiza as gruas para a montagem dos painéis, estando o custo incluído no orçamento base (KLH UK, 2013b). É seguida uma metodologia de trabalho que consiste em identificar os painéis para conduzir uma montagem sequencial (instalação de grua, entrega de painéis numa base diária, montagem de paredes, pavimento, cobertura) (KLH UK, 2013b).

Em termos de pessoal KLH prevê no mínimo um gestor de obra (site manager) da empresa que fiscaliza o processo (KLH UK, 2013b), para além de poder empregar uma equipa de carpinteiros especializados a trabalhar sob a direcção do gestor. É efectuada uma fiscalização pós-montagem em conjunto com o empreiteiro geral, sendo efectuado um relatório que inclui uma lista de actividades a efectuar antes da assinatura do documento de entrega da obra (KLH UK, 2013b). O tempo de montagem poderá ser encurtado, a pedido e com custos adicionais, através da previsão de uma equipa de montagem suplementar, devendo ser possível que duas gruas possam operar em simultâneo (KLH UK, 2013b).

#### 3.4.3.3 TRANSPORTE - PAINÉIS CLT

A KLH tem uma frota de camiões, recorrendo também a outras empresas para transportar os painéis desde a fábrica em *mega-trailers* fechados para eliminar os efeitos de condições adversas do clima (KLH UK, 2013b). O transporte só pode ser feito para locais que permitam a manobra de um *mega-trailer* com as dimensões de 13,50m por 2,95m<sup>249</sup>. A empresa não considera viável o corte dos painéis em partes mais pequenas para serem transportados num camião de menor dimensão com o intuito de chegarem a um determinado local de reduzido acesso (KLH UK, 2013b).

Embora a dimensão máxima dos painéis seja de 16,50mx2,95m, as dimensões máximas correntes são 13,50m por 2,40m ou por 2,95m (KLH UK, 2013a). No caso do Reino Unido, para dimensões maiores que 13,50m (com um mínimo de 1,50m) e com uma altura máxima de 2,95m, as entregas são feitas com um camião especial que só pode circular aos sábados, acarretando um acréscimo nos custos finais (KLH UK, 2013a).

Ahvenainen (2013) refere que um *trailer* normal pode ser carregado com 25 toneladas de painéis se estes forem arrumados horizontalmente, com um máximo de 13,60m e um máximo de altura de 2,45m. O cálculo do peso da carga pode ser efectuado com base numa densidade de 470Kg/m<sup>3</sup>. Um *mega-trailer* pode ser carregado com os painéis na vertical, com um comprimento máximo de 13,6m e uma altura máxima de 3,00m e também um peso máximo de 25 toneladas.

<sup>249</sup> Veículos e tamanho dos painéis (KLH UK, 2010): - Camião Standard (standard lorry) - 2,40x13,50m; - Megatrailer - 2,95x13,50m; - Camião especial (special lorry) - 2,95x16,50m (KLH UK, 2013b).

#### 3.4.3.4 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO - PAINÉIS CLT

Segundo Ahvenian (2013) a instalação da estrutura de uma moradia de 120m<sup>2</sup> em painéis CLT pode ser montada em dois dias exigindo apenas uma grua, e quatro operários. No caso da KLH, para otimizar os procedimentos, a empresa esforça-se para que a montagem seja feita directamente a partir do camião, sendo neste caso realizada a arrumação da carga na fábrica segundo a sequência da montagem. Quando for necessária a armazenagem, os painéis deve ser colocados sem contacto com o chão e cobertos com polietileno. O máximo de tempo de armazenagem deve ser entre dois a três dias (KLH UK, 2013b). O processo de construção é seco e relativamente pouco ruidoso, requerendo uma grua móvel, ferramentas eléctricas leves, e uma equipa de dois, quatro ou oito carpinteiros. Em edifícios de vários pisos, as especialidades que se seguem à estrutura podem começar a trabalhar nos pisos previamente concluídos (KLH UK, 2013b). Mesmo depois da instalação dos painéis de cobertura, a construção não pode ser considerada estanque, pelo que deve ser instalado um revestimento impermeabilizante o mais cedo possível (KLH UK, 2013b).

Os vãos (portas, janelas, vazios) têm cantos boleados com um raio de 20mm, mas estes podem ser deixados, a pedido, com as esquinas vivas. As furagens de parafusos podem ser realizadas em fábrica até um diâmetro mínimo de 20mm. Todos os vazios a inserir nos painéis estão sujeitos a verificação por parte do Engenheiro de estruturas da empresa (KLH UK, 2013a).

#### 3.4.3.5 PRINCÍPIOS DE PROJECTO - PAINÉIS CLT

Apesar dos painéis poderem ser produzidos com comprimentos até 16,50m, o comprimento óptimo que deve ser referenciado para a concepção do projecto é de 13,50m. Os painéis podem ser produzidos com um máximo de altura de 2,95m de espessura, devendo o projecto integrar este limite, recomendando-se a previsão de alturas de 2,40/2,50/2,72 e 2,95m (KLH UK, 2013). Deve-se também prever o tipo de qualidade dos painéis tendo em conta que os painéis normalizados têm uma qualidade não visual. Em função das opções arquitectónicas de cada projecto estão disponíveis painéis de qualidade visual industrial e qualidade visual para espaços residenciais e de educação (KLH UK, 2013).

No caso da KLH UK, toda a documentação necessária para um projecto de estruturas, bem como os dados para corte dos painéis é realizada nos escritórios de Londres da empresa. A equipa de projecto cria os desenhos de fabrico a partir dos desenhos originais do cliente, incorporando nos painéis de X-LAM, os vazios, as juntas e ligações que são enviadas para a fábrica na Áustria ou na Suécia, para corte através de tecnologia CNC. O processo de gestão inclui um controlo técnico e de qualidade antes dos painéis saírem da fábrica (KLH UK, 2013b).

A KLH começa a trabalhar no projecto após receber do cliente um conjunto de desenhos em pdf e dwg que contenha plantas, cortes e alçados incluindo linhas de grelha, e os painéis KLH marcados com clareza; com espessuras, dimensões estruturais incluindo as alturas dos vazios. Os desenhos devem incluir ainda a cota da laje de pavimento estrutural (*SSL structural slab level*); a cota do pavimento acabado (*FFL finish floor level*); o acabamento desejado para os painéis; as paredes e tectos que tiverem acabamento em madeira à vista; os vazios para infraestruturas mecânicas e de electricidade (*M&E openings*) e as divisões preferenciais de painéis (KLH UK, 2013a).

Se os serviços de Engenharia da KLH forem contratados, será também necessário fornecer (por parte do projectista do cliente) o documento "*Structural performance specification document*" cujo modelo é fornecido pela KLH e que integra as especificações estruturais do

projecto. Será também necessário fornecer plantas com exigência de segurança contra incêndio para cada parede, pavimento e cobertura (KLH UK, 2013a). Os painéis são pré-calculados para responder a requisitos estruturais, podendo ter de ser aumentada a sua espessura para cumprir as exigências acústicas e de segurança ao fogo (KLH UK, 2013a).

Durante o processo, a KLH UK (2013a) realiza três entregas de documentos ao cliente: a “entrega 1”, a “revisão A” e a “revisão B”. Na primeira entrega os desenhos (plantas, cortes e alçados, com modelos 3D), mostrarão os painéis KLH (eventualmente com elementos Glulam<sup>250</sup>, ou de aço se necessário) com descrição do tipo, espessuras e direcção dos veios. Os desenhos deverão ser comentados sobre os desenhos da KLH apenas, pelo cliente ou pelo seu representante, com incidência nos aspectos de geometria e se necessário sobre aspectos estruturais. Na revisão A serão revistos os desenhos em função dos comentários do cliente e do Engenheiro de estruturas da KLH. Se na fase anterior não houverem correcções substanciais a fazer, a KLH trabalhará já na divisão dos painéis e nas juntas de ligação. Na revisão B efectua-se uma rectificação final que integrará alterações decorrentes de eventuais comentários em relação às juntas previstas. Neste ponto devem ser enviados pelo cliente os desenhos à KLH com uma assinatura e uma legenda mostrando as fases A (aprovado), B (aprovado, mas sujeito a pequenas correcções sem implicação estrutural) ou C (a ser reavaliado depois de serem incorporados os comentários). O Arquitecto ou o empreiteiro geral farão a partir daí a coordenação do processo com a KLH. (KLH UK, 2013a).

---

<sup>250</sup> Os elementos em Glulam que eventualmente vierem a ser encomendados devem ser previstos em dimensões normalizadas, caso contrário, pode ser afectado fornecimento. Dimensões normalizadas: altura de 120mm em incrementos de 40mm até 800mm; largura desde 120mm em incrementos de 20mm até 240mm (KLH UK, 2013a).



Fig. 319 - Habitação em Mautern, Austria - Empresa Storaenso (Stora Enso, 2015).



Fig. 320 - Habitação em Blasenstein, Austria - Empresa Storaenso (Stora Enso, 2015).



Fig. 321 - Habitação em Sistrans, Austria - Empresa Storaenso (Stora Enso, 2015).



Fig. 322 - Habitação em Graz, Austria - Empresa Binderholz (Binderholz, Single-family house, Graz, 2015).



Fig. 323 - Habitação no Reino Unido - Watson House - Empresa KLH (<http://www.klhuk.com/portfolio/residential/watson-house.aspx>).



## 4 METODOLOGIAS DE PROJECTO

Após finalizados os capítulos de enquadramento com: a contextualização da problemática da tese, a definição das tipologias arquitectónicas referentes à construção em madeira e a descrição dos principais sistemas construtivos, segue-se um capítulo de revisão da literatura sobre o tema principal: a metodologia de projecto de Arquitectura.

Uma vez que se pretende propor um método de projecto adaptado ao projecto de casas em madeira, importa definir e enquadrar o conceito de “método de projecto” e identificar outras investigações que tenham sido efectuadas com o objectivo de tornar mais eficaz o processo de projecto. Foi assim importante abordar ainda que de forma sintética a metodologia do *design* como um campo de investigação próprio, relacionado com dois ramos: os métodos de avaliação (incluindo os de decisão) e os métodos generativos.

Esta revisão mostrou que o tema da tese poderia ter sido mais focado no desenvolvimento de processos e instrumentos automáticos de concepção ou de decisão. Essa não foi no entanto a via seguida porque nesse caso o “método” passaria a ser o próprio conteúdo da investigação e “a construção em madeira”, que se pretendeu que fosse sempre o conteúdo principal desta tese, passaria a ser o acessório.

Tanto a experiência profissional do autor da tese (como Arquitecto) como também os resultados do primeiro inquérito às empresas de construção de casas de madeira (efectuado no LNEC) permitiram identificar problemas que levaram a considerar válida a necessidade de um método de projecto. O problema identificado consiste, para além da lacuna no conhecimento técnico, na desadequação do método corrente de projecto, utilizado pelos Arquitectos nacionais, relativamente aos desafios colocados pela construção em madeira. Assim, identificaram-se os aspectos principais da metodologia corrente e estabeleceu-se a diferença entre esta e a metodologia adoptada pelas empresas de construção de casas de madeira. Procedeu-se aqui também a uma revisão de conhecimentos relativamente a métodos válidos e relevantes a considerar como base do método proposto: as metodologias de definição da qualidade arquitectónica e os faseamentos e procedimentos definidos na legislação (capítulo 4.1.1).

As limitações e dificuldades dos Arquitectos relativamente ao projecto, que justificam a necessidade de um método diferente, decorrem também das especificidades da própria madeira como material de construção. Com base na experiência de vários autores foi possível identificar e realizar uma síntese dos principais factores singulares do projecto com estruturas de madeira (capítulo 4.1.2): a natureza dos sistemas construtivos, a forma de actuar dos intervenientes, o desenvolvimento do projecto, a escolha do sistema construtivo e a durabilidade das soluções.

Finalmente elaborou-se também uma síntese sobre instrumentos específicos que são recorrentemente incorporados nas metodologias de projecto (capítulo 4.1.3): o catálogo e a tipologia. Aqui foi utilizada a grelha tipológica definida no capítulo 3, onde se estabeleceu a divisão entre sistemas construtivos e sistemas formais, procurando-se sustentar a sua importância para a definição do método que se deverá propor no capítulo 7.

Adicionalmente à revisão da literatura sobre o tema da metodologia, elaborou-se um segundo inquérito às empresas de construção de casas de madeira, mediante uma entrevista estruturada (capítulo 4.2.1) centrada na temática do método de concepção e do papel do Arquitecto. Esta entrevista permitiu também clarificar outras questões que no inquérito anterior tinham ficado menos claras ou por esclarecer. Foi ainda considerado importante acrescentar

três entrevistas (capítulo 4.2.2): por mostrarem as opiniões de empresas com perfis tão diferentes e por ilustrarem também algumas das perspectivas e preocupações comuns a todas as empresas de fabrico e construção em madeira.

Algumas das informações obtidas neste capítulo, nomeadamente as referentes às metodologias actuais e às especificidades de projecto informam também a abordagem ao caso de estudo que se efectuará no capítulo seguinte (capítulo 6). Mas as conclusões principais deverão contribuir directamente para a elaboração da proposta de projecto baseada em tipos arquitectónicos que tem lugar no último capítulo (capítulo 7).

Toda a recolha de informação foi efectuada tendo em vista responder à seguinte questão: "Quais deverão ser as características de um método de projecto de Arquitectura, que promova a qualidade do projecto e da construção de habitações unifamiliares, contemplando para cada fase: a) as condicionantes (do meio, do cliente e do âmbito técnico); b) as opções técnicas e conceptuais disponíveis; e c) as decisões a tomar.



## 4.1 REVISÃO SOBRE METODOLOGIAS

### 4.1.1 ESTADO DA ARTE

Metodologia<sup>251</sup> pode ser definida de forma genérica como o conjunto de regras estabelecidas para concretizar determinados fins no contexto de uma disciplina. Neste estudo, a “metodologia do projecto de Arquitectura” será o conjunto de procedimentos utilizados para realizar um projecto tendo em vista a concretização de uma obra com qualidade arquitectónica. Num projecto de Arquitectura os “procedimentos” incluem as decisões tomadas numa demarcada sequência temporal. O objectivo de uma metodologia de projecto é apoiar o projectista sobre “o que fazer e quando fazer”.

#### 4.1.1.1 METODOLOGIA DE PROJECTO

Os recursos de “apoio ao projecto”, têm sido historicamente concretizado por via de múltiplas ferramentas, contando actualmente os profissionais de projecto, com uma base de conhecimento fornecida pela sua formação institucional através do ensino especializado. A escola fornece o saber basilar da sua área científica e a experiência de projecto permite confrontar a teoria com a prática, dando lugar a uma aprendizagem empírica contínua. A actividade profissional e os conhecimentos são enquadrados adicionalmente por regras estabelecidas em normas e regulamentos definidos tendo em vista a segurança e a qualidade dos projectos. Alguns desses regulamentos e normas acabam por formalizar metodologias que definem procedimentos, limitações, condicionantes, objectivos, e fases de projecto.

No entanto muitas das decisões e opções de projecto ultrapassam o âmbito tanto do conhecimento adquirido pelo projectista como das disposições regulamentares. Assim, os “manuais” de apoio surgem como a evolução dos antigos tratados que fixavam as regras para um determinado ofício ou disciplina. Dos manuais, que são instrumentos prescritivos em relação a uma determinada actividade, evoluiu-se para as metodologias de apoio: à análise, à avaliação e à concepção. Paralelamente surgiram as ferramentas informáticas que pretenderam tornar operativas essas metodologias através da possibilidade de processar num tempo curto grandes quantidades de informação. No caso do projecto de arquitectura, o método seguido actualmente em Portugal tem por base um contexto académico, regulamentar e profissional.

O projecto de Arquitectura é um processo que é englobado pelas fontes de língua inglesa na categoria geral dos processos de “*design*”, designando-se especificamente o processo arquitectónico como “*architectural design*”. Considerando o projecto de Arquitectura como um todo, reconhece-se que o processo de *design*<sup>252</sup> conduzido pelos Arquitectos é muito mais difícil de objectivar do ponto de vista do método que os processos de design de outras disciplinas como por exemplo o da Engenharia estrutural. No primeiro caso, o mesmo programa submetido a diferentes Arquitectos dará origem a diferentes respostas. No caso da

<sup>251</sup> Pode-se estabelecer uma distinção entre metodologia e método. Metodologia será o estudo dos diversos métodos e método será um conjunto de regras em termos de ordem e procedimentos definidos para efectuar um processo específico com um determinado objectivo.

<sup>252</sup> Lawson (2005, p. 288) descreve a investigação sobre o *design* como uma área iniciada nos anos 60 do século XX associada inicialmente a uma abordagem subjectiva, que avançou depois para a observação do processo em laboratório e posteriormente para a análise da actividade em situações reais. Mais tarde utilizaram-se técnicas de entrevista a *designers* na tentativa de explicar muito do que sucedia no processo e que ocorria ao nível do pensamento. Uma outra área de investigação teria como objectivo a criação de ferramentas informáticas com o objectivo de auxiliar o processo ou de substituir o próprio *designer*. Na opinião do autor, esta última área tem revelado mais as limitações dos computadores do que tem dado contribuições para o *design* humano.

Engenharia, na maior parte das situações, um problema com os mesmos pressupostos deverá direccionar as respostas para resultados iguais ou muito semelhantes.

O método de projecto (*design method*) é, segundo Achten (2008) um instrumento que estabelece um objectivo no contexto de um processo projectual (*design*), definindo os passos a efectuar e a respectiva ordem, podendo ser utilizado em mais de um caso e por diferentes actores. Michael Brawne em “*Architectural thought: The design process and the expectant eye*” (Brawne, 2003, p. 19) afirma que a metodologia descreve as operações específicas que se considera poderem fornecer uma ajuda na sequência do design (projecto).

Penn et al (2004) ao elaborarem um resumo da História da evolução paralela da teoria do *design* (*design theory*) e da informática referem que o campo de investigação das metodologias se iniciou sob o pressuposto de que tal como os métodos da investigação operacional durante a segunda guerra mundial tinham tido sucesso no seu apoio logístico aos militares, os procedimentos formalizados (*design methods*) adicionariam racionalidade ao processo de *design* fornecendo-lhe cientificidade. Os autores de referência deste movimento foram Herbert Simon nos anos 50 e Christopher Alexander nos anos 60, assinalando-se a data da “*Conference on Design Methods*” em 1963, em Oxford como um marco importante no movimento, sendo mais tarde sugeridas novas direcções por autores como Colquhoun<sup>253</sup> e Bill Hillier<sup>254</sup>, por exemplo. Nos anos 80, os fundadores do movimento *Design Methods* elaboraram uma revisão das suas posições (Jones e Alexander), tornando-se claro que o caminho seguido pelo processo de desenho não ia no sentido de um problema bem definido para uma solução óptima, mas em vez disso, avançava mediante a exploração de possíveis soluções até uma melhor definição do problema (*brief for design problem*).

Herbert Simon notou que o projecto de Arquitectura era, tal como o xadrez, caracterizado por problemas bem estruturados no pormenor, mas mal estruturados no todo, ou seja embora fosse possível no detalhe estruturar as pequenas questões, era frequentemente impossível fazê-lo no todo. O processo de projecto foi caracterizado por outros autores como integrando uma dicotomia entre os “geradores da forma” por um lado e os “críticos analistas” por outro. Assim, as propostas dos *designers*, que são os criadores, são revista por especialistas (Engenheiros, orçamentistas, empreiteiros, clientes, representantes do utente, ou seja os críticos analistas) que efectuem contribuições parcelares. Neste sentido o *designer* interioriza as críticas dos especialistas e refina o problema, reduzindo o leque de soluções que devem ser desenvolvidas.

Nos anos 90 a investigação focou-se nos *Space Syntax Studies* de Hillier e Hanson (abordagem analítica) e nas *Shape grammars* de Stiney e March (abordagem generativa). Ambas as abordagens remetiam para a computação ou requeriam-na para a sua execução. Os desenvolvimentos na informática para o projecto de Arquitectura seguiram desde aí um variado número de vias: modelação 3D para visualização, modelação paramétrica; análise e simulação de desempenhos funcionais para alternativas, bases de dados de informação e geração de formas optimizadas (Penn, et al., 2004).

A relação entre o computador e as metodologias justificou-se pelo apoio dado perante a grande quantidade de informação e a complexidade das operações com que se lida ao longo dos processos de projecto. A complexidade do projecto de Arquitectura resulta fundamentalmente das exigências diversas e por vezes contraditórias a que um edifício deve

<sup>253</sup> “A precedência e centralidade da tipologia no pensar o design” (*design thinking*)

<sup>254</sup> “A importância de conhecer os efeitos do *design* local nos resultados globais”

responder (suscitadas por clientes, utentes, projectistas e pelos regulamentos), às quais se juntam as condicionantes de cada contexto (físicas, sociais, administrativas e técnicas). A competência e experiência das equipas de Arquitectura nem sempre bastam para enfrentar os problemas que se lhes deparam. A necessidade de desenvolver métodos de projecto para lidar com problemas complexos originou diversas abordagens de teorização ou sistematização do processo de projecto. Chang (2011) refere que as abordagens ao processo específico de projecto de Arquitectura (*architectural design*) podem ser classificados graficamente num esquema axial, com os métodos de avaliação (como a *space syntax*) em oposição aos métodos generativos num eixo, e os processos indutivos em oposição aos dedutivos noutro eixo<sup>255</sup> (Chang, 2011).

Um exemplo da abordagem generativa é dado pela investigação de Pinto Duarte (2007) em “Personalizar a habitação em série”. Nesta tese é apresentado o desenvolvimento de um sistema de design que é bem o exemplo da aplicação de um método a um objectivo de projecto. O autor pretendeu criar uma estrutura computacional para “*provisão de habitações em série personalizadas*”, partindo do pressuposto segundo o qual a personalização conduziria à satisfação do utente e evitaria sobrecustos associados a alterações pós-ocupação. O mercado alvo do sistema seria o cliente que não recorria ao Arquitecto. Mas mediante “o desenvolvimento de um modelo matemático para o programa de computador interactivo”, o utilizador poderia vir a ser também o próprio projectista. O projectista veria assim aumentada a sua criatividade obtendo rapidamente soluções alternativas de projecto. O modelo proposto desenvolveu-se enquadrado por três desafios: o da simulação (traduzir os dados do cliente em requisitos de projecto e verificar se a solução os cumpre), o da geração (codificar as regras de composição formal); e o da optimização (gerar soluções que satisfaçam um objectivo de desempenho).

Tal como foi referido na abertura do capítulo, pretende-se definir uma estrutura metodológica geral de apoio ao projecto de Arquitectura de casas de madeira, mais do que transformar o método numa ferramenta automática de avaliação ou de geração. Neste sentido, o método a propor aproxima-se mais dos conceitos de “meta-programa” e “meta-projecto”, tal como os definiu Nuno Portas em “Arquitectura: Forma de conhecimento - Forma de comunicação”. Portas (Portas, 2005) descreve o meta-programa como um programa que enfrenta cada situação previsível estabelecendo bases e regras “*que permitem compreender o sentido e a estrutura de cada programa particular*”. Já o “meta-projecto” será uma solução genérica dentro de certos limites, resultando de uma análise lógica, contemplando necessidades genéricas e soluções tipológicas, incluindo um meta-programa de funções e uma metalinguagem Arquitectural. Nuno Portas referia que o princípio do meta-programa deveria ser explorado na pesquisa escolar e na investigação aplicada, tendo em vista a melhoria do rendimento qualitativo da industrialização da construção e da qualidade da cidade. Para o caso específico da “industrialização de sistemas construtivos ou catálogos de componentes”, o meta-projecto (ou projecto de projectos) permitiria definir as características formais e funcionais de edifícios potenciais e determinados grupos de funções. Seria possível assim relacionar os componentes mais adequados a cada tipo de projecto.

A investigação sobre as metodologias de projecto sempre levantou problemas e críticas que alertaram para as suas limitações. Basicamente parece concluir-se que é difícil replicar racionalmente através de um método os processos correntes de projecto. Autores como

---

<sup>255</sup> Heuristics, Protocol Analysis, Pattern Language e Case Base Reasoning são processos indutivos enquanto as Decision trees, genetic algorithms, Shape Grammar são dedutivos (Chang, 2011)

Achten (2008) consideram que a utilização de um método não é garantia de um bom resultado, uma vez que deixam sempre muitos aspectos do problema por resolver. Lawson (2005), após o estudo e análise da forma de proceder dos designers, afirmou que no processo de *design* a sequência de actividades ocorre de tal modo que nem sempre a fase de formulação do problema surge anteriormente à fase de síntese, ou seja, os *designers* frequentemente desenvolvem soluções muito antes de terem entendido completamente a natureza do problema. Para o autor (Lawson, *What designers know*, 2004, p. 12), o programa (*briefing*) é visto como um processo contínuo que não ocorre apenas no início. A sequência de actividades no processo de projecto (*design process*) não é aquela que segue uma progressão de fases do tipo “Programa, Análise, Síntese e Avaliação”, em vez disso, surgem diferentes actividades que não ocorrem necessariamente em tempos diferentes ou com uma ordem estabelecida. Por exemplo, alguns Arquitectos poderão começar pela definição dos detalhes antes da concepção geral enquanto outros procedem de forma inversa. Lawson (*What designers know*, 2004, p. 11) defende ainda que sendo as soluções de *design* holísticas, o bom *design* raramente pode ser decomposto em componentes para serem encarados como aspectos individuais do problema. Alguns autores consideram mesmo que não há métodos particulares adaptáveis a qualquer problema, deverá haver no entanto métodos adaptados a problemas particulares (Jormakka, Schürer, & Kuhlmann, 2013).

Pode-se concluir através do anterior enquadramento que a metodologia de projecto é um campo de investigação muito específico e que as metodologias como ferramentas práticas têm um certo número de limitações relacionadas com a sua aplicação aos processos de concepção reais. Apesar de todas as limitações, o desenvolvimento de uma proposta de método a partir da qual os projectistas possam apoiar as suas actividades, terá sentido e utilidade como uma referência aberta a aperfeiçoamento. Para além da componente informativa (isto é, a descrição das possibilidades construtivas e formais da construção em madeira para habitação), a proposta que se pretende apresentar deverá identificar dentro de cada fase, as actividades críticas que o projectista deverá seguir ao longo do processo de projecto, como forma de garantir a qualidade das soluções.

O foco do trabalho desta tese deverá ser a “construção em madeira” e não o “instrumento metodológico”. Ainda que fosse um desafio interessante desenvolver um método de projecto de construção de casas em madeira que pretendesse ter uma validade geral ou um instrumento de optimização e racionalização de soluções por exemplo, tal abordagem iria implicar uma concentração do estudo no desenvolvimento dessas ferramentas, relegando para segundo plano os problemas da natureza da construção em madeira, da habitação e da Arquitectura que são as áreas fundamentais deste estudo.

#### 4.1.1.2 DECISÃO MULTICRITÉRIO

O processo de projecto para além de integrar fases com distintos níveis de informação e de fixar objectivos e resultados esperados, exige tomadas de decisão<sup>256</sup> cuja maior dificuldade consiste em lidar com critérios múltiplos. A área de estudo que visa desenvolver processos de apoio à decisão abrange evidentemente o sector do *design*. Bana e Costa (Processo de apoio à decisão: Actores e acções; Estruturação e avaliação, 1993) descreve o “processo de apoio

<sup>256</sup> A área de estudo do apoio à decisão no design é acolhida por organizações específicas como a Design & Decision Support Systems - International Research School (DDSS - International Research School for Design & Decision Support Systems, 2012) que reúne diversas universidades. As suas áreas de interesse no contexto da arquitectura e do urbanismo são as seguintes: “computer aided design”, “artificial intelligence”, e “knowledge representation”. O objectivo principal da DDSS Research School é desenvolver sistemas inovadores (e melhorar os existentes) no âmbito do design e do apoio à decisão no campo da arquitectura, construção e planeamento urbano.

à decisão” como um sistema que integra a estruturação de um problema e a elaboração de um modelo de avaliação. Neste sistema incluem-se os subsistemas dos actores envolvidos e das acções. Da sua interacção resultam os elementos primários de avaliação que podem ser as normas e os objectivos (de natureza subjectiva) e as características (de natureza objectiva). O apoio multicritério à decisão integra a subjectividade presente nos processos de decisão através dos valores dos actores envolvidos. A estruturação do problema consiste em identificar os pontos de vista (que são o reflexo dos valores dos actores) aos quais se vão ligar os elementos primários de avaliação. O processo pode ser orientado para ajudar a avaliar as acções em termos absolutos (se se tiver por referência uma norma) ou relativos (através de ordenação ou comparação), podendo ainda ser considerado um auxílio para ordenar ou a escolher, aceitar ou rejeitar determinadas acções.

A utilização mais simples do método de decisão multicritério realiza-se recorrendo à avaliação de alternativas com base em matrizes de ordenação de alternativas. Este processo, testado em projectos de Arquitectura, consiste em definir critérios de projecto, qualitativos e quantitativos, e ordenar a importância de cada um dos critérios atribuindo-se pesos por ordem decrescente. O passo seguinte consiste em avaliar todas as alternativas de solução através da ordenação, da melhor para a menos boa na perspectiva de cada critério. No final cada alternativa obtém uma pontuação que resulta da soma das avaliações ponderadas em cada critério.

O artigo “*MCDM in practice - an architectural point of view*” (Bejder, Kirkegaard, Brohus, & Fisker, 2008) conclui que a utilização de uma matriz de decisão ponderada no projecto de Arquitectura tem a vantagem de obrigar a uma explicitação dos critérios de escolha e a uma transparência na gradação da sua importância, evitando-se os tradicionais problemas que ocorrem nos diálogos das equipas de projecto (ou entre cliente e Arquitecto) quando não há uma definição clara da importância de cada critério. Por outro lado, a avaliação com base em critérios relativamente estanques permite evitar as falhas de comunicação que ocorrem quando as avaliações se efectuam agrupando critérios parciais não explicitados. O referido artigo, considera que o método multicritério com base em matrizes de decisão é importante para estruturar os problemas mas não deve necessariamente ser utilizado para tomar a decisão final uma vez que a avaliação qualitativa elimina sempre as *nuances* mais “finas” das decisões de design e nunca ultrapassa as limitações próprias de “uma forma de avaliar uma totalidade através das suas partes individuais”.

#### 4.1.1.3 AVALIAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A avaliação de sistemas construtivos é uma das áreas onde é possível observar, com alguma frequência, casos de utilização de métodos de apoio à decisão com base em critérios múltiplos em processos de projecto. Na área da construção em madeira, por exemplo, Ferry (Ferry, 2012) em “*La préfabrication dans la construction bois*” desenvolveu um método para apoiar o Engenheiro durante o desenvolvimento de projectos quando este é confrontado com as muitas opções que o mercado oferece em termos de componentes e sistemas estruturais. Cada produto terá vantagens e desvantagens e campos de adequação preferenciais, pelo que este autor propôs uma forma de escolher os princípios estruturais mais adequados a cada contexto. Nesse estudo descreveram-se primeiro as vantagens e os limites de cada sistema, definindo-se as situações ou os contextos mais apropriados a cada um. Estas descrições foram sintetizadas num diagrama de apoio à decisão, cujo objectivo seria auxiliar o decisor a efectuar a escolha adequada. Este método foi testado num projecto em que o autor

(Fery, 2012) esteve envolvido com o objectivo de auxiliar na escolha de um sistema construtivo através da identificação dos respectivos benefícios e desvantagens<sup>257</sup>. Para definir os critérios relevantes na análise assumiu-se que qualquer obra necessita de um equilíbrio entre: o desempenho da solução construtiva considerada, a sua adaptabilidade ao projecto, a sua facilidade e rapidez de montagem (prazo) e o seu custo global (Fery, 2012, p. 14). Do ponto de vista do processo de projecto, o autor concluiu que é logo na fase de estudo prévio que, para além das linhas gerais do projecto e da estimativa de custo, se devem definir os princípios estruturais. A definição estrutural implica o dimensionamento indicativo da estrutura, a definição da composição das paredes e a escolha dos materiais previstos (Fery, 2012, p. 10).

A metodologia de apoio à decisão desenvolvida por Fery (2012, p. 27) incluiu critérios diversos e parâmetros básicos de avaliação para cada um deles: concepção estrutural (simples ou difícil); comportamento estrutural (excelente ou mau); comportamento energético (excelente ou mau); comportamento acústico (excelente ou mau); taxa de pré-fabricação (elevada ou fraca); custo do produto fornecido (baixo ou elevado); fabrico em série (simples ou difícil); prazo de fabrico (curto ou longo); prazo de montagem (curto ou longo); especialização para a montagem (fraca ou elevada); transporte (simples ou difícil); e trabalhos de montagem com grua (simples ou difícil). Cada critério pode assim ser associado a uma avaliação em forma de uma escala gráfica, sendo realizada ainda uma síntese final com a listagem dos pontos fortes e fracos de cada solução. Finalmente os resultados podem ser acompanhados de uma indicação das tipologias mais adequadas à solução estrutural em análise.

Outro exemplo relevante, já não no sector da construção em madeira, mas no das estruturas em aço e betão, foi o que desenvolveu Rogers (2012) em *"The use of a multi-criteria decision model to choose between different structural forms within modern office construction"*<sup>258</sup>. Neste estudo efectuou-se uma análise de dez tipos de sistemas estruturais em aço, em relação aos seguintes critérios: custo, energia incorporada inicial, tempo de construção da estrutura e tempo de construção total. Para tal, utilizou-se um modelo de análise de decisão multicritério, recorrendo a um tipo de edifício genérico "situado" em Dublin, tendo-se depois também realizada outra análise de um edifício do mesmo tipo em Manchester. Este estudo concluiu com uma proposta do tipo de estrutura preferencial para os contextos da Irlanda e do Reino Unido. A análise efectuada incidiu sobre os elementos estruturais, ou seja as fundações, a estrutura de aço ou betão e incluiu também os elementos associados como os pavimentos, as escadas e os revestimentos (Rogers, 2012, p. 11). A metodologia seguida consistiu nos seguintes passos: definição de um conjunto de formas estruturais e critérios de decisão; determinação da forma como cada critério deve ser medido; recolha de informação relevante sobre cada forma estrutural e a respectiva classificação segundo os critérios propostos;

<sup>257</sup> Adicionalmente e com base na experiência obtida enquanto técnico numa empresa Suíça, especializada no projecto de construções em madeira, o autor considerou haver vantagens em concentrar no Engenheiro as actividades de desenho (normalmente atribuída ao Arquitecto) e as de cálculo estrutural (Fery, 2012, p. 10).

<sup>258</sup> Foram também analisados quatro modelos de decisão para identificar o mais apropriado à análise da informação multicritério associada à avaliação das diferentes opções estruturais disponíveis: 1) Concordance Analysis; 2) Goal Achievement Matrix - GAM; 3) Multi-attribute utility theory - MAUT; 4) Analytic hierarchy Process - AHP. Foi escolhida o modelo "Concordance Analysis" tendo-se concluído ser este o mais apropriado para escolher entre opções complexas de engenharia estrutural. A técnica utilizada foi a do modelo "Promethee1" (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*). Adicionalmente utilizaram-se dois modelos básicos para identificar inicialmente os tipos estruturais preferenciais (Borda Sum of Ranks and the Dominance Method) (Rogers, 2012, p. 13). Os objectivos deste estudo foram: 1) Comparar várias opções construtivas viáveis; 2) Identificar critérios relevantes para o processo de decisão na escolha da forma estrutural ótima; 3) Construir um modelo de decisão inovador que permita identificar e avaliar uma forma estrutural; 4) Avaliar a adequação de uma metodologia MCDA (Modelo de Análise de Decisão Multicritério) para identificar formas estruturais óptimas para edifícios de escritórios.

avaliação da importância dos critérios de decisão através de entrevistas aos interessados e aos decisores (clientes, autoridades, empreiteiros, projectistas); selecção de um conjunto de modelos de decisão e introdução de dados; decisão sobre qual o modelo mais apropriado e decisão sobre a forma estrutural óptima<sup>259</sup> (Rogers, 2012, p. 14).

Ainda outro exemplo na área da escolha de sistemas estruturais foi o que se desenvolveu em "*Selection of structural systems and materials: Minimizing lateral drift and cost of tall buildings in Saudi Arabia*" (AlShamrani, 2007). Neste caso desenvolve-se um processo de escolha de um tipo estrutural e de materiais com vista à minimização do efeito das de forças horizontais (vento e sismo) em edifícios altos na Arábia Saudita. O autor refere que normalmente a selecção dos sistemas estruturais é baseada na experiência dos projectistas, sem se avaliarem as opções disponíveis. A racionalização do processo de escolha de um tipo estrutural deveria então, segundo o autor, passar por vários processos (AlShamrani, 2007, p. 4): definição de critérios e exigências; definição de tipo estrutural e material; teste e avaliação; desenvolvimento e modificação; teste e avaliação; selecção do sistema. Dos vários critérios identificados como condicionantes da escolha dos sistemas estruturais, o autor (AlShamrani, 2007, p. 5) escolheu quarenta, entre os quais se destacam: as cargas consideradas, a força lateral (vento e sismo), o clima, os custos do trabalho e de material, as exigências regulamentares, a localização, o limite de altura do edifício, a sustentabilidade (durabilidade e reciclabilidade), a resistência e a estabilidade.

Em "*The architects studio companion rules of thumb for preliminary design*" (Allen & lano, 2002, p. 19) apresenta-se um processo diferente de apoio à escolha de um tipo estrutural no âmbito do estudo prévio de um edifício ("*preliminary design of a building*"). Esta obra, com a estrutura de um manual propõe em primeiro lugar a consulta dos regulamentos (neste caso o IBC) para seleccionar os sistemas adequados para o grupo funcional do edifício (*occupancy group*) que o projectista está a considerar. Este grupo funcional é determinado pelas áreas e altura de um edifício, que poderão ser factores limitadores de algumas soluções construtivas (nomeadamente das soluções estruturais de madeira). Após esta primeira análise, apresenta-se uma lista em que se efectua uma correspondência directa entre objectivos, ou características de projecto, e os sistemas estruturais mais adequados. Este é um processo que pode ser também considerado "de avaliação" uma vez que os sistemas estruturais que surgem na lista correspondendo a uma determinada característica do projecto foram previamente avaliados positivamente. Na Tabela 30 apresenta-se um resumo desta abordagem tendo-se seleccionado a informação que interessa no âmbito da construção em madeira.

Este tipo de tabelas revelam-se úteis, como um instrumento de apoio à decisão e avaliação de soluções estruturais, para a fase de definição de estudo prévio. Recorrendo ao auxílio destas matrizes e a tabelas auxiliares de pré-dimensionamento pode o próprio Arquitecto ensaiar, analisar e avaliar de forma rápida diversas soluções. As tabelas auxiliares indicam as dimensões (ou um intervalo dimensional) dos componentes e os vãos permitidos por cada tipo estrutural (tendo como referência os tipos de componentes, de pavimentos e de vigas associados a cada sistema) (Allen & lano, 2002, p. 27). Como em qualquer método ou manual as suas limitações são evidentes: por um lado os pressupostos referem-se a um

<sup>259</sup> Utilizando o modelo *Promethe 1*, foi solicitado a 21 decisores (Arquitectos, engenheiros, orçamentistas, etc) que atribuíssem pesos a cada um dos quatro critérios. Os critérios foram ordenados de um a sete, com o valor sete indicando o mais importante e o valor um indicando o menos importante. Os pesos normalizados resultaram da soma dos pontos dos quatro critérios e dividindo os pontos de cada critério por essa soma (Rogers, 2012, p. 145). Uma análise sistemática de um processo de decisão pode ser representada por 5 passos: 1) Definição de objectivos; 2) Formulação de critérios; 3) Geração de alternativas; 4) selecção da alternativa preferencial (Rogers, 2012, p. 123).



contexto específico (regulamentos e produtos de construção correntes na América do Norte), por outro lado há sistemas em falta como por exemplo o sistema de lamelados cruzados colados.

Tabela 30 - Extracto do quadro síntese de critérios de design (Allen & Iano, 2002, p. 19).

OBJECTIVO	SOLUÇÃO ESTRUTURAL APROPRIADA
Edifício com uma forma muito irregular	Sistemas com estrutura de pavimento e cobertura simples, fabricada principalmente <i>in situ</i> (...) <i>Platform frame</i>
Estrutura exposta mas elevado nível de segurança contra incêndio	(...) <i>Heavy Timber frame</i>
Pilares localizados fora de uma grelha estrutural regular	Sistemas sem vigas nem vigotas na cobertura e pavimento (...) Não são apresentados sistemas em madeira
Espessura de pavimento reduzida ao máximo para reduzir a altura do edifício ou o impacto da espessura na fachada	(...) Não são apresentados sistemas em madeira
Área ocupada por pilares e paredes portantes reduzida ao mínimo	Sistemas estruturais de grande vão (...) <i>Heavy wood trusses</i> (pages 66-67) <i>Glue laminated wood beams</i> (pages 62-63) <i>Glue laminated wood arches</i> (pages 68-69)
Flexibilidade - Alterações possíveis durante o ciclo de vida do edifício	Sistemas de pequeno vão ( <i>short-span one way</i> ) (...) Qualquer sistema de madeira
Construção sob condições adversas	Sistemas que não dependem de processos químicos <i>in situ</i> (BA) e que possam ser montados rapidamente (...) Qualquer sistema de madeira
Tempo de fabrico na fábrica minimizado	Sistemas construídos em obra com materiais facilmente trabalháveis (...) <i>Platform frame</i>
Tempo de fabrico em obra minimizado	Sistemas com componentes pré-fabricados e modulares (...) <i>Heavy timber frame</i>
Tempo de construção minimizado (em edifícios de um ou dois pisos)	Sistemas leves e fáceis de trabalhar, ou pré-fabricados e fáceis de montar (...) <i>Platform frame</i>
Contraventamento diagonal ou paredes resistentes minimizadas	Sistemas capazes de formar juntas rígidas (...) Não são apresentados sistemas em madeira
Peso próprio da estrutura minimizado	Sistemas leves ou de vãos curtos (...) Qualquer sistema de madeira
Problemas estruturais ( <i>structural distress</i> ) devidos a condições de fundações instáveis	Sistemas sem juntas rígidas (...) <i>Heavy timber frame</i> (...) <i>Platform frame</i>
Número de equipas de trabalho (por especialidades) em obra minimizadas	Considerar sistemas que incorporam muitas das funções de um sistema completo de parede (...) Não são apresentados sistemas em madeira
Espaço entre a estrutura para ductos, tubagens e outras infraestruturas	(...) Considerar sistemas com espaços vazios na sua estrutura (...) <i>Platform frame</i>

#### 4.1.1.4 FORMULAÇÃO EXIGENCIAL

A área referente à definição e avaliação do desempenho de projectos e obras tornou-se conhecida como formulação exigencial, com uma abordagem baseada no estabelecimento de objectivos, oposta à das formulações prescritivas que propõem soluções e resultados. No âmbito da formulação exigencial para a habitação podem ser elaborados documentos que codificam os requisitos de projecto em “instruções” e “normas de projecto” que têm como objectivo apoiar os projectistas na elaboração de programas habitacionais e soluções de projecto. Em Portugal, o LNEC tem sido um actor preponderante na investigação e aplicação deste tipo de abordagem, sendo responsável por vários documentos de apoio ao projecto (por exemplo o IPHPE - Instruções para Projectos de Habitação Promovida pelo Estado, o RTHS - Recomendações Técnicas para Habitação Social, e o NTPEH - Normas técnicas para projecto de edifícios de habitação). Em paralelo a este tipo de documentos que acabam por ter um objectivo normativo, desenvolveram-se também métodos de avaliação da qualidade para medir o desempenho das habitações e dos projectos face um conjunto de requisitos considerados (SEL - *Système d'Évaluation de Logements*, QUALITEL) (Pinto Duarte, 2007, pp. 6-7).

Na perspectiva da formulação exigencial, assume-se que o objectivo de um projecto de habitação consiste em proporcionar uma construção de qualidade ao habitante, sendo a definição da qualidade um dos aspectos basilares desta abordagem. Duarte (2007, p. 1)

considera que a definição de qualidade inclui três factores: 1) a satisfação dos requisitos funcionais definidos pelos regulamentos; 2) a satisfação de requisitos estéticos (codificados num determinado estilo de projecto); e 3) a satisfação de requisitos estipulados pelo cliente (funcionais, estéticos, custo).

Em Portugal, na área da avaliação da qualidade destacam-se os estudos de Costa (Costa, 1995) e de Pedro (Pedro, 2003). Costa (Costa, 1995) considerando as vantagens da existência de um sistema de informação que permitisse aos utilizadores um conhecimento mais detalhado e profundo do nível de qualidade das soluções projectadas e construídas, propôs um método de “Avaliação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação” aplicável às condições existentes em Portugal. Neste estudo estabeleceu-se uma hierarquia de objectivos, e propuseram-se critérios para avaliação de soluções em projecto, baseados em parâmetros de obtenção directa a partir de peças escritas e desenhadas. A obtenção de níveis de qualidade parcelares e globais resulta de uma ponderação dos vários níveis da hierarquia de objectivos. Segundo Costa (1995, p. 40) na fase de estudo prévio é atribuível ao Engenheiro Civil, a responsabilidade de aconselhar o coordenador - o Arquitecto projectista - sobre: a) tipos de estruturas, custos associados e consequências espaciais; b) processos construtivos; e c) tipos de fundação. Nesta fase é atribuída ao Arquitecto a tarefa, entre outras, de experimentar diversas soluções de distribuição de espaços, estudando o seu efeito e implicações. Costa considera ainda que o entendimento do Arquitecto como coordenador de projecto, apesar de motivar alguma discussão é justificável. Segundo o autor, no desenvolvimento dos projectos de edifícios, e em particular dos edifícios de habitação, a Arquitectura é a especialidade onde todas as outras se encontram: algumas poderão influenciar-se mutuamente, em graus muito variáveis, mas todas elas acabam por influenciar as opções arquitectónicas do edifício e são ao mesmo tempo influenciadas por elas (Costa, 1995, p. 23).

No contexto do LNEC e na continuidade de estudos anteriores, Pedro (Pedro, 2003) propôs um método de programação habitacional adaptado à realidade nacional. O “Método de definição e avaliação da qualidade habitacional” assume os dados do utente como um conjunto de requisitos de projecto que constituem uma lista de especificações (ou um programa habitacional) onde são descritos os objectivos do projecto. Para além da definição dos aspectos programáticos propõe-se ainda um método de avaliação de projectos que permite comparar uma solução com os objectivos antes estabelecidos. O método desenvolvido adopta a estratégia da formulação exigencial, não propondo soluções *a priori* estabelecendo antes os objectivos a atingir, (Pedro, 2003, p. 34).

Tabela 31 - Exigências habitacionais (Pedro, 2003).

EXIGÊNCIAS HABITACIONAIS						
HABITABILIDADE	SEGURANÇA	USO			ESTÉTICA	ECONOMIA
		ADEQUAÇÃO ESPACIO - FUNCIONAL	ARTICULAÇÃO	PERSONALIZAÇÃO		
Conforto hidrotérmico	Estrutural	Capacidade	Privacidade	Adaptabilidade	Atractividade	Economia
Conforto acústico	Uso normal	Espaciosidade	Convivialidade	Apropriação	Domesticidade	
Conforto tátil	Contra incêndio	Funcionalidade	Acessibilidade		Integração	
Conforto do ar	Contra intrusão		Comunicabilidade			
Estanquidade	Viária					
Salubridade						

A quantificação da “qualidade” é efectuada mediante a definição de “níveis de qualidade” que correspondem a exigências que suscitam um determinado patamar de satisfação dos utentes. A definição destes níveis de qualidade está associada a possibilidades sociais, económicas e técnicas específicas (Pedro, 2003, p. 35). São estabelecidos quatro níveis de qualidade

(Pedro, 2003, p. 36): básico, mínimo, médio e máximo. A classificação das exigências de qualidade aplicáveis a edifícios de habitação é resumida na Tabela 31 (Pedro, 2003, p. 31).

No âmbito deste método, a avaliação da qualidade inicia-se com a identificação dos objectivos associados ao conceito de qualidade arquitectónica habitacional. Para este efeito define-se uma árvore de pontos de vista que inclui cinco níveis (ou hierarquias) com a seguinte identificação de conteúdo: 1) níveis Físicos; 2) grupos de qualidades (grandes vectores da qualidade); 3) qualidades (valores fundamentais da qualidade, classificação decorrente da definição das exigências dos utentes); 4) Indicadores de qualidade (associam os elementos de avaliação em conjuntos que permitem a medição do desempenho da solução, num aspecto com significativo grau de autonomia; 5) Elementos de avaliação (características da solução directamente quantificáveis por medição ou observação) (Pedro, 2003, p. 97).

Pedro (2003, p. 98) considera uma árvore genérica de pontos de vista (cf. Tabela 32), com cinco grandes grupos de qualidade: Conforto ambiental, Segurança, Adequação espaço-funcional, articulação e personalização. Particularizando depois para o nível físico da habitação, Pedro (2003, p. 104) apresenta uma árvore de pontos de vista detalhada que inclui um segundo nível de qualidades desdobrados em indicadores de qualidade (cf. Tabela 33). Serão os indicadores de qualidade que permitirão objectivar os elementos de avaliação em relação a objectivos pré-definidos.

Depois de estabelecidos os grupos de qualidade, as qualidades específicas, os objectivos e os elementos de avaliação, são definidos os descritores (valores que permitem quantificar de forma numérica o desempenho das soluções segundo cada ponto de vista). É utilizada neste método uma escala que é a seguinte: nulo (valor 0); mínimo (valor 1); recomendável (valor 2); óptimo (valor 3). Cada valor representa o desempenho (resposta) da solução relativamente à resposta às necessidades dos utentes (cf. Tabela 34).

Tabela 32 - Pontos de vista com os níveis do grupo de qualidades e respectivas qualidades (Pedro, 2003).

PONTOS DE VISTA				
CONFORTO AMBIENTAL	SEGURANÇA	ADEQUAÇÃO ESPACIO FUNCIONAL	ARTICULAÇÃO	PERSONALIZAÇÃO
Conforto acústico	Uso normal	Capacidade	Privacidade	Apropriação
Conforto visual	Contra incêndio	Espaciosidade	Acessibilidade	Adaptabilidade
Conforto do ar	Contra intrusão	Funcionalidade		
Conforto hidrotérmico	Viação			

Tabela 33 - Árvore de pontos de vista com os níveis do grupo de qualidades, respectivas qualidades e indicadores de qualidade (Pedro, 2003).

CONFORTO AMBIENTAL	Conforto acústico	Conforto acústico
	Conforto visual	Orientação solar
		Iluminação natural
		Obscurecimento
		Abertura visual
SEGURANÇA		Controlo visual
	Qualidade do ar	Qualidade do ar
	Segurança no uso normal	Segurança no uso normal
	Segurança contra incêndio	Segurança contra incêndio
	Segurança contra intrusão	Segurança contra intrusão
ADEQUAÇÃO	Capacidade	Programa de espaços
		Programa de equipamentos
		Extensão de paredes móveis
ESPÁCIO-FUNCIONAL	Espaciosidade	Área Útil
		Dimensão útil
		Pé-direito
	Funcionalidade	Funcionalidade
ARTICULAÇÃO	Privacidade	Privacidade relativamente ao exterior
		Privacidade entre compartimentos
	Acessibilidade	Relação entre espaços
		Habitacões com mais que um piso
PERSONALIZAÇÃO		Utentes de mobilidade condicionada
	Apropriação	Apropriação
	Adaptabilidade	Adaptabilidade do perímetro da habitação
		Adaptabilidade entre compartimentos

Tabela 34 - Exemplo de processo de avaliação com base na formulação exigencial (Pedro, 2003).

Grupo de qualidade	Qualidade	Indicador de qualidade	Objectivo	Elementos de avaliação (base nas especificações de qualidade do programa habitacional)	Descritores (respostas esperadas)
CONFORTO AMBIENTAL	Conforto acústico	Conforto acústico (no caso do conforto acústico não há decomposição em vários indicadores de qualidade)	As habitações devem proporcionar um adequado isolamento acústico entre os espaços da habitação e a envolvente	Separação de zonas de fogo	A Existe separação (3) B Pode ser introduzida uma separação (2) C Nenhuma das condições anteriores (0)
				Relação entre quartos e salas ou cozinhas de habitações vizinhas	A Nem contíguos nem sob vizinhos (3) B Contíguos ou sob, c/ solução optimizada (1) C Nenhuma das condições anteriores (0)
				Relação entre quarto/sala e paredes com prumadas de esgoto ou condutas de lixo	A Quartos e salas não contíguos (3) B Contíguos mas solução optimizada (1) C Nenhuma das condições anteriores (0)
				Etc.	

Para o nível de qualidade do edifício Pedro (2003, p. 168) propõe os mesmos cinco grupos de qualidades, com as respectivas qualidades, mas inclui indicadores diferentes, apropriados para avaliar este nível físico (cf. Tabela 35).

Tabela 35 - Exigências de qualidade para o nível físico do edifício (Pedro, 2003, p. 168).

<b>CONFORTO AMBIENTAL</b>	Conforto acústico	Conforto acústico
	Conforto visual	Iluminação natural Abertura visual e Controlo visual
	Qualidade do ar	Qualidade do ar
	Conforto higrótérmico	Conforto higrótérmico
<b>SEGURANÇA</b>	Segurança no uso normal	Segurança no uso normal
	Segurança contra incêndio	Segurança contra incêndio
	Segurança contra intrusão	Segurança contra intrusão
<b>ADEQUAÇÃO</b>	Capacidade	Programa de espaços Programa de equipamentos
	Espaciosidade	Área Útil
<b>ESPÁCIO-FUNCIONAL</b>	Funcionalidade	Dimensão útil Funcionalidade
	Privacidade	Privacidade
<b>ARTICULAÇÃO</b>	Acessibilidade	Relação entre espaços Pormenorização Utentes de mobilidade condicionada Veículos
	Apropriação	Apropriação
	Adaptabilidade	Adaptabilidade do perímetro da habitação Adaptabilidade entre compartimentos

Na mesma linha, Pinto Duarte (2007, pp. 39-40), considera no seu estudo “Personalizar a habitação em série: Uma gramática discursiva para as casas da Malagueira do Siza” que a definição do programa habitacional representa o primeiro passo do processo de projecto, servindo para identificar os requisitos a satisfazer pela solução projectada. Os dados do programa incluem a identificação dos espaços, compartimentos, funções e actividades que compõem a habitação, e também a atribuição de funções e actividades aos espaços, os horários das actividades nos espaços e a caracterização dos habitantes (idade e características). Os requisitos de projecto ou de qualidade definem o nível de desempenho dos compartimentos e unidades construtivas necessárias para assegurar a satisfação das exigências<sup>260</sup> do utilizador e são formalizados por uma lista de qualidades que precisam ser satisfeitas. Contemplam-se também aqui níveis de qualidade expressos por um conjunto de requisitos que definem o grau de satisfação das exigências do utilizador. Neste estudo são definidos três níveis de qualidade: o mínimo, o médio e o máximo.

As principais qualidades consideradas por Pinto Duarte (2007, pp. 40-41) são o conforto, a segurança, a adequação espacial, a articulação espacial, a personalização, a estética e o custo. Cada uma destas “qualidades” inclui “sub-qualidades” que incluem ainda “sub-qualidades elementares” (por exemplo a qualidade conforto, inclui o conforto visual que por sua vez inclui a orientação solar, a luz natural, o sombreamento, etc.) (cf. Tabela 36). Segundo o autor, o objectivo do método de avaliação é apoiar o processo de tomada de decisões servindo para medir, numa determinada solução habitacional, a satisfação dos requisitos do projecto (Pinto Duarte, 2007, p. 45).

<sup>260</sup> A formulação das exigências define a qualidade de desempenho pretendida mas não fornece soluções.

Tal como para Pedro (2003), para Pinto Duarte (2007) o “método de avaliação habitacional” é um “método de avaliação multicritério” no qual uma “árvore de qualidade” se transforma numa “árvore de pontos de vista” (cf. Tabela 37). Esta “árvore” inclui nos seus “ramos” os pontos de vista principais (grupos de requisitos ou qualidades) e nos “sub-ramos”, os pontos de vista elementares (requisitos de qualidades básicos). Os pontos de vista elementares são quantificáveis através de descritores (cf. Tabela 36) que, como foi referido antes, correspondem a um conjunto de valores que permite quantificar numa escala numérica o desempenho do projecto de um ponto de vista elementar.

Tabela 36 - Exemplo de Grupos de qualidades, qualidade, indicadores, critério, descritor (Pinto Duarte, 2007).

<b>Nível Físico</b>	Habitação	
<b>Grupo de qualidades</b>	Conforto ambiental	
<b>Qualidade</b>	Conforto acústico	A habitação deve ser concebida de modo a proporcionar um adequado isolamento entre os diferentes compartimentos da habitação e entre a habitação e o seu entorno.
<b>Indicadores de qualidade</b>	Conforto acústico entre compartimentos	
<b>Critério de avaliação</b>	Separação de zonas funcionais	
<b>Lista de requisitos</b>	1) Existe separação através de porta ou escada entre zonas de dormir e zonas de estar e serviços.	

A cada ponto de vista é atribuído um factor de peso que exprime a sua importância para o projectista ou avaliador. Depois de avaliar um projecto sob diferentes pontos de vista elementares, pode-se obter um resultado síntese para o correspondente ponto de vista geral, calculando a média ponderada do desempenho do projecto sob diferentes pontos de vista elementares (Pinto Duarte, 2007, p. 47). Neste caso, a formulação exigencial preocupa-se com a identificação dos requisitos para o projecto de habitações e com a avaliação quer dos projectos quer das obras (Pinto Duarte, 2007, pp. 37-38).

Tabela 37 - Árvore de pontos de vista (Pinto Duarte, 2007).

Grupos principais	Grupos de características	Características	Características elementares
Condicionantes		Contexto	Lote, Contexto urbano Orientação solar
		Tipologia	Personalização Utilizadores, Quartos Qualidade
		Morfologia	Variante Número de pisos Varandas
Qualidade	Função	Espacialidade	Capacidade (habitação) Capacidade (espaços) Articulação (espaços) Espaciosidade (habitação e espaços)
Custo	Estética	Topologia	
		Proporção Construção	

Na sequência da definição deste método foi desenvolvido um modelo matemático para um programa de computador interactivo, ou seja um “sistema de projecto assistido por computador”. O modelo desenvolvido pretendeu concretizar três objectivos principais: 1) Fornecer um meio de traduzir os dados do cliente em especificações ou requisitos de projecto e verificar se uma solução satisfaz tais requisitos (Simulação); 2) Codificar as regras de composição formal para projectar uma habitação num determinado “estilo” (geração); 3) Traduzir os requisitos de projecto numa solução (Optimização) (Pinto Duarte, 2007, pp. 3-4).

A gramática de programação utilizada por Duarte (Pinto Duarte, 2007, p. 336) assume um subconjunto das características, subdivididas pelos grupos das condicionantes, da qualidade e do custo que depois são ramificadas até às características elementares que caracterizam e definem os aspectos singulares de cada projecto.

Verifica-se que qualquer dos métodos descritos antes permite uma avaliação de soluções com base na análise e atribuição de uma classificação a pontos de vista elementares em função do nível de satisfação (da solução em análise) das exigências de qualidades definidas inicialmente. No entanto, observa-se que em todas as propostas está ausente a avaliação dos aspectos estruturais das soluções arquitectónicas. Assume-se de certa forma que os aspectos estruturais são um compartimento estanque e que os regulamentos, as normas e a Engenharia garantem as exigências de segurança e portanto a qualidade da estrutura. Não foram encontrados trabalhos de investigação com métodos de apoio ao projecto de arquitectura integrando a escolha de um tipo estrutural para a habitação unifamiliar. É também curioso notar que os trabalhos sobre metodologia ou avaliação das estruturas dos edifícios, são elaborados especificamente na área da Engenharia, não havendo investigações que tentem observar de forma integrada os aspectos formais e os aspectos estruturais da Arquitectura.

#### 4.1.1.5 FASES DO PROJECTO

A concepção arquitectónica requiere sempre uma série de actividades sequenciais que conduzem a uma solução que deve ser considerada a melhor dentro das possíveis respostas a um conjunto de condições previamente definidas. De uma forma muito genérica é aceite que os processos de *design* em geral e de criação arquitectónica em particular consistem tradicionalmente numa sequência de operações (Ricketts & Meritt, 2000): 1) análise; 2) síntese ou selecção de componentes que formem um sistema em resposta a objectivos e sujeito a condicionantes; 3) avaliação do desempenho do sistema, incluindo a comparação entre alternativas; e 4) retorno (feedback) às fases de análise e síntese com base na informação obtida na avaliação com vista à optimização da hipótese de solução. Normalmente procede-se à comparação (4.ª fase) entre soluções alternativas visando escolher a melhor de entre pelo menos duas soluções válidas. O retorno às fases anteriores, quando necessário, permitirá clarificar as exigências que inicialmente se tinham definido.

Zunde e Bougdah em “*Integrated strategies in architecture*” (Zunde & Bougdah, 2006) elaboram um esquema (cf. Figura 324) onde são apontadas de forma mais detalhada as diversas fases do processo de projecto, que integram o processo parcial de concepção anteriormente descrito. Este processo é assumido quase universalmente, com mais ou menos variações de pormenor, como sendo constituído pelas seguintes fases: definição do problema, reunião de informação, análise do problema, síntese de soluções preliminares e desenvolvimento e comunicação.

Tendo como referência o esquema (Figura 324) observa-se que definição do problema será um aspecto fundamental do processo uma vez que o programa preliminar apresentado pelo cliente (*commission*) em bruto ou de uma forma não organizada deve ser estruturado pelo projectista num programa base (*brief*) que será o ponto de partida de todas as decisões. O programa base serve de referência ao desenvolvimento de um esquema (*sketch*) através do qual é possível dialogar com os técnicos das especialidades no sentido de desenvolver um estudo prévio (*sketch scheme*) a apresentar ao cliente. Esse estudo prévio, contempla o processo de concepção antes descrito, comportando a definição de soluções alternativas. O estudo prévio poderá eventualmente servir para reequacionar e aperfeiçoar o programa base, retornando-se neste caso à fase de desenvolvimento de outro programa preliminar até esse ser aceite pelo cliente. Uma vez aceite a proposta de estudo prévio pelo cliente, procede-se para o desenvolvimento do projecto base e posteriormente para o projecto de execução.

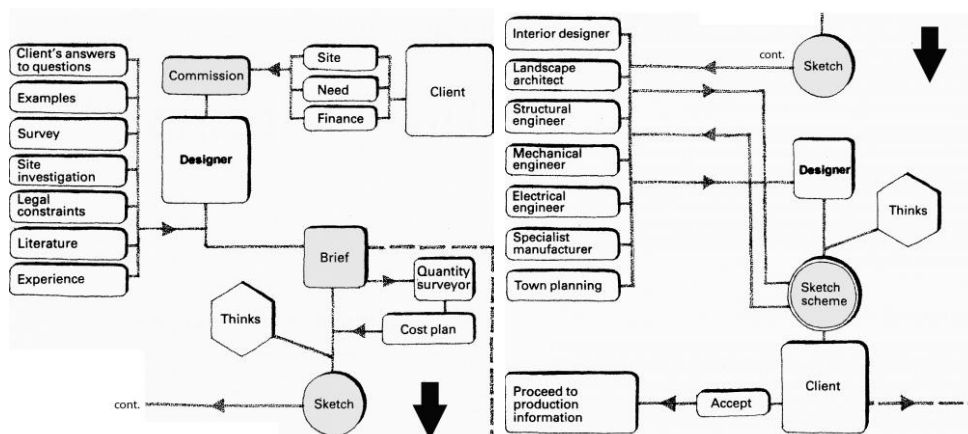


Fig. 324 - Processo de projecto segundo Zunde e Bougdah (Zunde & Bougdah, 2006).

Natterer (Natterer, Herzog, & Volz, Atlante del legno, 1999) no âmbito da descrição das atribuições do Arquitecto e do Engenheiro para o desenvolvimento de um projecto utilizando estruturas de madeira elaboram, com base em Pahl e Beitz, um esquema mais completo (cf. Fluxograma 4). Neste é possível observar as fases de desenvolvimento de um projecto desde a definição do problema até à concretização da solução. Assim, desde que o problema é equacionado e expresso pelo cliente até à elaboração da solução final deveriam haver cinco fases definidas pelos seus resultados: 1) especificações; 2) conceito; 3) projecto preliminar; 4) projecto final; e 5) documentação de execução. Estas fases corresponderão em Portugal às fases de programa preliminar; programa base, estudo prévio; projecto base; e projecto de execução.

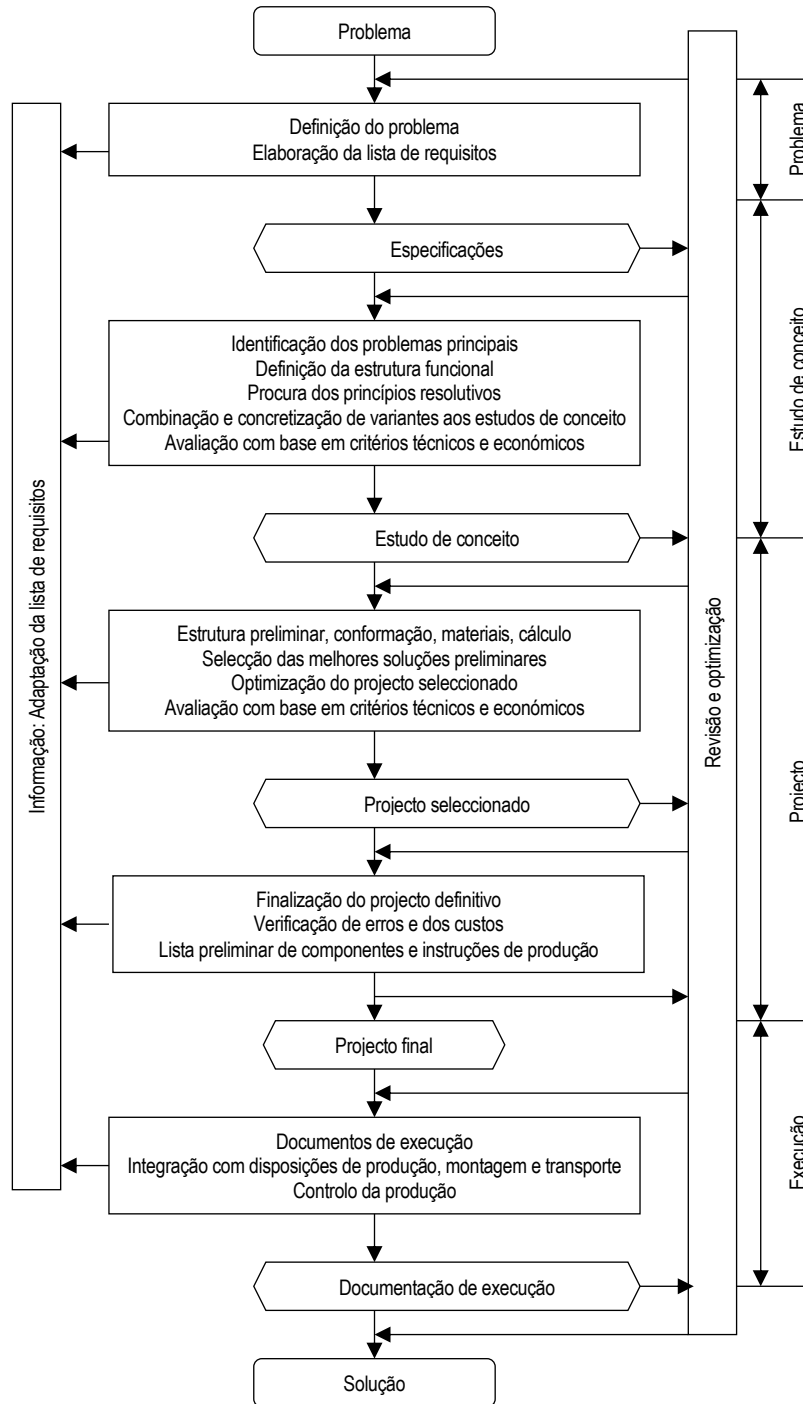
Deve-se salientar que neste quadro surgem de forma muito evidente as actividades paralelas de revisão, optimização e reelaboração da lista de requisitos. Em qualquer método de projecto, a actividade que antecede a finalização de qualquer fase deve ser constituída pela revisão do trabalho produzido com vista à eventual optimização. A actividade numa fase não obriga a passar imediatamente à fase seguinte, sendo aceitável (e necessário por vezes) retornar a fases anteriores. Esta é afinal uma forma de responder às críticas dirigidas normalmente às metodologias de projecto com base no argumento segundo o qual o *design* não é um processo linear.

O processo de projecto, tal como descrito teoricamente pelos autores anteriormente referidos, acaba por ser formalizado em regulamentos nacionais que, embora com variantes, revelam uma estrutura semelhante. A necessidade de regular a relação entre cliente e projectistas (principalmente quando o cliente é o Estado) e de fiscalizar a conformidade dos projectos com os regulamentos obrigou evidentemente a essa formalização.

No caso nacional o documento que contém a estrutura metodológica de projecto formalizada em fases e actividades é a portaria nº 701-H/2008 de 29 de Julho (Portugal, 2008b) que contém os procedimentos e normas a adoptar na elaboração e faseamento de projectos de Obras Públicas. Esta, embora não abranja explicitamente as obras particulares, contém instruções que constituem um referencial para qualquer tipo de obra. São definidas, no Anexo I (Instruções para a elaboração de projectos de obras), quatro fases de projecto: Programa Base; Estudo Prévio; Anteprojecto; Projecto de execução, para além do Programa Preliminar e da Assistência técnica (cf. Tabela 38).



Fluxograma 4 - Desenvolvimento de projecto com estrutura de madeira (Natterer, Herzog, & Volz, Atlante del legno, 1999).



O objectivo do programa preliminar consiste em informar o projectista sobre as condicionantes do contexto. Estas são de três tipos: as características do meio, as exigências regulamentares e as exigências do cliente. Podem ser fixados nesta fase os níveis de qualidade pretendidos, tendo por base as opções do cliente e as condicionantes orçamentais, salvaguardadas as exigências regulamentares de segurança e conforto. Nesta fase pode também estruturar-se o quadro de preferências do cliente que incluirá os critérios de escolha das soluções e os respectivos pesos.

O programa base consistirá na resposta dada pelo projectista às condicionantes estabelecidas na fase anterior. Deverá conter a *“definição dos critérios gerais de dimensionamento das diferentes partes constitutivas da obra”*, embora ainda sem soluções concretas. Pode eventualmente incluir ainda as informações ou os critérios que permitam definir soluções alternativas. Esta fase deverá integrar já uma estimativa de custo com base em valores médios de mercado. A Portaria (Portugal, 2008b) especifica que devem ser apresentadas as definições funcionais (organigrama de funções) e as definições e justificações das soluções para responder às exigências de uso, segurança, conforto e ambiente. É necessário também efectuar a descrição dos equipamentos previstos e uma lista de elementos complementares a obter, incluindo possíveis estudos geológicos do terreno.

O estudo prévio consiste principalmente na definição desenhada da solução ou das soluções alternativas seleccionadas na fase anterior. A solução deve integrar os processos de construção e a natureza dos materiais e equipamentos mais significativos. Esta solução é concretizada através de elementos gráficos (plantas, cortes e alçados e outros) com dimensionamentos, características fundamentais e a definição dos processos de construção e natureza dos materiais. As soluções estruturais propostas devem incluir o seu pré-dimensionamento. A escolha de uma solução a desenvolver na fase seguinte tem um papel fundamental, uma vez condicionará completamente as restantes fases. Esta escolha efectua-se pela avaliação e comparação de cada uma das hipóteses de solução consideradas. Deve incluir-se ainda no estudo prévio uma análise prospectiva do desempenho térmico, acústico, energético e da qualidade do ar e (com pré-dimensionamentos das respectivas medidas). As soluções devem ser ainda acompanhadas da correspondente estimativa de custo e prazo de execução. No âmbito da construção em madeira esta fase é aquela em que as medidas de durabilidade geral (através da forma arquitectónica) devem ser observadas.

O projecto base consiste no desenvolvimento geral da solução escolhida, submetendo-a à verificação das exigências regulamentares. Assim, o projecto deve ser constituído pelas peças escritas e desenhadas que permitem definir o dimensionamento da obra e a sua execução, permitindo já uma avaliação das quantidades de trabalhos e uma estimativa de custo. A solução estrutural deverá estar já dimensionada, bem como as restantes soluções das especialidades (instalações, equipamentos, condicionamento acústico e condicionamento térmico). Para o Arquitecto, esta, em determinadas circunstâncias, pode ser a fase final de projecto, uma vez que a partir das suas definições é possível avançar para a construção.

O projecto de execução consiste no desenvolvimento de detalhe da solução. Dependendo da abordagem do projecto, esta pode ter um papel mais ou menos relevante do ponto de vista do Arquitecto. No âmbito da construção em madeira, ainda que o projecto de execução de estruturas seja muitas vezes elaborado pelas próprias empresas de fabrico (ou com a sua colaboração), o papel do Arquitecto pode revelar-se muito relevante não só na execução dos detalhes que garantam a coerência formal do projecto, mas também na definição de detalhes que salvaguardem a durabilidade da solução.

Tabela 38 - Elaboração e faseamento de projectos. Síntese da Portaria nº 701-H/2008 de 29 de Julho (Portugal, 2008b).

FASE	OBJECTIVO	CONTEÚDO
Programa preliminar	"Documento fornecido pelo Dono da Obra ao Projectista para definição dos objectivos, características orgânicas e funcionais e condicionamentos financeiros da obra, bem como dos respectivos custos e prazos de execução a observar"	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Objectivos da obra;</li> <li>b) Características gerais da obra;</li> <li>c) Dados sobre a localização do empreendimento;</li> <li>d) Elementos topográficos, cartográficos e geotécnicos, levantamento das construções existentes e das redes de infra-estruturas locais, coberto vegetal, características ambientais e outros eventualmente disponíveis, a escalas convenientes;</li> <li>e) Dados básicos relativos às exigências de comportamento, funcionamento, exploração e conservação da obra, tendo em atenção as disposições regulamentares;</li> <li>f) Estimativa de custo e respectivo limite dos desvios e, eventualmente, indicações relativas ao financiamento do empreendimento;</li> <li>g) Indicação geral dos prazos para a elaboração do projecto e para a execução da obra.</li> </ul>
Programa preliminar Elementos especiais	Edifícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Os diferentes tipos de utentes do edifício, a natureza e a medida das respectivas actividades e as suas interligações;</li> <li>b) As características evolutivas das funções a que o edifício se deve adequar;</li> <li>c) A ordem de grandeza das áreas e volumes, as necessidades genéricas de mobiliário, máquinas, instalações, instrumentos e aparelhagem e as eventuais condições específicas de ambiente exigidas, designadamente, isolamento térmico, renovação de ar, condicionamento acústico, condições de iluminação e incidência solar;</li> <li>d) O reconhecimento geotécnico do terreno nos termos definidos pelo Autor do projecto no Programa base.</li> </ul>
Programa base	"Proporcionar ao Dono da Obra a compreensão clara das soluções propostas pelo Projectista, com base nas indicações expressas no programa preliminar"	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Esquema da obra e programação das diversas operações a realizar;</li> <li>b) Definição dos critérios gerais de dimensionamento das diferentes partes constitutivas da obra;</li> <li>c) Indicação dos condicionamentos principais relativos à ocupação do terreno;</li> <li>d) Peças escritas e desenhadas e outros elementos informativos necessários para o perfeito esclarecimento do Programa base, no todo ou em qualquer das suas partes, incluindo as que porventura se justifiquem para definir as alternativas de solução propostas pelo Projectista e avaliar a sua viabilidade, em função das condições de espaço, técnicas, de custos e de prazos;</li> <li>e) Estimativa geral do custo da obra, tomando em conta os encargos mais significativos com a sua realização e análise comparativa dos custos de manutenção e consumos da obra nas soluções propostas;</li> <li>f) Descrição sumária das opções relacionadas com o comportamento, funcionamento, exploração e conservação da obra;</li> <li>g) Informação sobre a necessidade de obtenção de elementos topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, climáticos, características da componente acústica do ambiente, redes de infra-estruturas ou de qualquer outra natureza que interessem à elaboração do projecto, bem como sobre a realização de estudos em modelos, ensaios, maquetes, trabalhos de investigação e quaisquer outras actividades ou formalidades que podem ser exigidas, quer para a elaboração do projecto, quer para a execução da obra.</li> </ul>
Programa base Elementos especiais	Edifícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Organograma das funções e das actividades dos utentes do edifício, com discriminação dos factores principais que foram tidos em consideração, nomeadamente: estrutura orgânica, funções e actividades, número e qualificação dos utentes.</li> <li>b) Representação gráfica de interdependência das funções e das actividades dos utentes.</li> <li>c) Descrição e avaliação das condições de utilização, de segurança, de conforto e de ambiente exigidas, seja qual for a sua natureza, e a definição e justificação das soluções a adoptar para satisfação daquelas exigências.</li> <li>d) Discriminação e justificação das necessidades de instalações e de equipamentos, de circulações e comunicações e outras fixadas no Programa Preliminar.</li> <li>e) Definição e justificação dos critérios gerais de compartimentação e de dimensionamento, em função da forma de ocupação, das exigências de ambiente e de conforto e das necessidades de instalações e de equipamentos.</li> <li>f) Definição e justificação do programa de reconhecimento geotécnico, incluindo as respectivas especificações, necessário ao desenvolvimento dos estudos geológico e geotécnico.</li> </ul>
Estudo Prévio	"Desenvolve as soluções aprovadas no Programa base, sendo constituído por peças escritas e desenhadas e por outros elementos informativos, de modo a possibilitar ao Dono da Obra a fácil apreciação das soluções propostas pelo Projectista e o seu confronto com os elementos constantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Memória descritiva e justificativa, incluindo capítulos respeitantes a cada um dos objectivos relevantes do estudo prévio;</li> <li>b) Elementos gráficos elucidativos sob a forma de plantas, alçados, cortes, perfis, esquemas de princípio e outros elementos, em escala apropriada;</li> <li>c) Dimensionamento aproximado e características principais dos elementos fundamentais da obra;</li> <li>d) Definição geral dos processos de construção e da natureza dos materiais e equipamentos mais significativos;</li> <li>e) Análise prospectiva do desempenho térmico e energético e da qualidade do ar interior nos edifícios no seu conjunto e dos diferentes sistemas activos em</li> </ul>

	naquele" "o Estudo prévio contém, <u>para cada uma das soluções alternativas</u> apresentadas à aprovação do Dono da Obra (...) os elementos seguintes:"	particular; f) Análise prospectiva de desempenho acústico relativa, nomeadamente, à propagação sonora, aérea e estrutural, entre espaços e para o exterior; g) Estimativa do custo da obra e do seu prazo de execução.
Estudo prévio Elementos especiais		<p>a) Os elementos necessários à definição esquemática:</p> <p>i) Da implantação do edifício, a qual deverá ser efectuada sobre planta topográfica a escala adequada, a fornecer pelo Dono da Obra.</p> <p>ii) Da integração urbana e paisagística do edifício.</p> <p>iii) Dos acessos ao terreno e da disposição das redes gerais de água, de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais, gás, electricidade, comunicações e outras.</p> <p>iv) Das necessidades mais importantes de infra -estruturas a executar no terreno e dos critérios propostos para a conservação ou para a demolição de construções ou de outros elementos existentes no terreno e para o desvio e reposição das infra -estruturas existentes, quando for caso.</p> <p>b) Representação gráfica da forma, da organização de espaços e volume e da composição do edifício que evidencie:</p> <p>i) As características morfológicas dominantes do edifício e das suas partes componentes.</p> <p>ii) A organização dos espaços e a interdependência de áreas e volumes que explicitem as inter-relações das partes componentes e destas com o conjunto do edifício.</p> <p>iii) A compartimentação genérica do edifício, com indicação da forma como são solucionados os sistemas de comunicações e de circulações estabelecidas no Programa base.</p> <p>c) Descrição e justificação das soluções estruturais propostas, incluindo:</p> <p>i) O pré -dimensionamento da solução estrutural proposta.</p> <p>ii) O pré -dimensionamento das soluções de escavação e de contenção periférica proposta, caso aplicável.</p> <p>d) Descrição, justificação e pré - dimensionamento das instalações e dos equipamentos propostos;</p> <p>e) Pré -dimensionamento das medidas de condicionamento térmico e acústico.</p> <p>f) Relatório com os resultados do reconhecimento geotécnico do terreno, fornecido pelo Dono da Obra, justificação das soluções de fundação preconizadas e, quando for o caso, a justificação das soluções de escavação e de contenção periférica;</p> <p>g) Descrição genérica das medidas de condicionamento acústico e dos modelos de conservação de energia e de conforto térmico.</p>
Anteprojecto (ou Projecto base)	"Desenvolve a solução do Estudo prévio aprovado, sendo constituído por peças escritas e desenhadas e outros elementos de natureza informativa que permitam a conveniente definição e dimensionamento da obra, bem como o esclarecimento do modo da sua execução"	<p>a) Memórias descritivas e justificativas da solução adoptada, incluindo capítulos especialmente destinados a cada um dos objectivos especificados para o anteprojecto, onde figuram designadamente descrições da solução orgânica, funcional e estética da obra, dos sistemas e dos processos de construção previstos para a sua execução e das características técnicas e funcionais dos materiais, elementos de construção, sistemas e equipamentos;</p> <p>b) Avaliação das quantidades de trabalho a realizar por grandes itens e respectivos mapas;</p> <p>c) Estimativa de custo actualizada;</p> <p>d) Peças desenhadas a escalas convenientes e outros elementos gráficos que explicitem a localização da obra, a planimetria e a altimetria das suas diferentes partes componentes e o seu dimensionamento bem como os esquemas de princípio detalhados para cada uma das Instalações Técnicas, garantindo a sua compatibilidade;</p> <p>e) Identificação de locais técnicos, centrais interiores e exteriores, bem como mapa de espaços técnicos verticais e horizontais para instalação de equipamentos terminais e redes.</p> <p>f) Os elementos de estudo que serviram de base às opções tomadas, de preferência constituindo anexos ou volumes individualizados identificados nas memórias;</p> <p>g) Programa geral dos trabalhos.</p>
Anteprojecto (ou Projecto base) Elementos especiais		<p>a) Planta topográfica de implantação do edifício e perfis do terreno que definam a implantação do edifício e das infra -estruturas e expressem, com clareza, a sua integração urbana e paisagística.</p> <p>b) Plantas, alçados e cortes, em escalas apropriadas, que discriminem a compartimentação e indiquem as áreas, os volumes e as dimensões principais da construção, do mobiliário e de outros elementos acessórios do edifício.</p> <p>c) O reconhecimento geológico e o estudo geotécnico, fornecidos pelo Dono da Obra.</p> <p>d) O dimensionamento da solução estrutural proposta e da solução de escavação e de contenção periférica proposta, caso aplicável.</p> <p>e) O dimensionamento das instalações e dos equipamentos.</p> <p>f) O dimensionamento da solução de condicionamento acústico, incluindo uma análise prospectiva de desempenhos e a demonstração de conformidade com os critérios de qualidade aplicáveis, nomeadamente os regulamentares.</p> <p>g) O dimensionamento da solução de condicionamento térmico.</p>

		<p>h) A localização e caracterização do mobiliário fixo.</p> <p>i) As peças necessárias à organização dos processos de licenciamento quando exigíveis.</p>
Projecto de execução e assistência técnica	"Desenvolve o Projecto base aprovado, sendo constituído por um conjunto coordenado das informações escritas e desenhadas de fácil e inequívoca interpretação por parte das entidades intervenientes na execução da obra, obedecendo ao disposto na legislação e regulamentação aplicável"	<p>a) Memória descritiva e justificativa, incluindo a disposição e descrição geral da obra, evidenciando quando aplicável a justificação da implantação da obra e da sua integração nos condicionamentos locais existentes ou planeados; descrição genérica da solução adoptada com vista à satisfação das disposições legais e regulamentares em vigor; indicação das características dos materiais, dos elementos da construção, dos sistemas, equipamentos e redes associadas às Instalações Técnicas;</p> <p>b) Cálculos relativos às diferentes partes da obra apresentados de modo a definirem, pelo menos, os elementos referidos na regulamentação aplicável a cada tipo de obra e a justificarem as soluções adoptadas;</p> <p>c) Medições e mapas de quantidade de trabalhos, dando a indicação da natureza e da quantidade dos trabalhos necessários para a execução da obra;</p> <p>d) Orçamento baseado nas quantidades e qualidades de trabalho constantes das medições;</p> <p>e) Peças desenhadas de acordo com o estabelecido para cada tipo de obra na regulamentação aplicável, devendo conter as indicações numéricas indispensáveis e a representação de todos os pormenores necessários à perfeita compreensão, implantação e execução da obra;</p> <p>f) Condições técnicas, gerais e especiais, do caderno de encargos.</p>
Projecto de execução Elementos especiais		<p>a) Os resultados da análise do reconhecimento geotécnico e do estudo geológico, fornecidos pelo Dono da Obra.</p> <p>b) A planta de localização do edifício e do conjunto em que se insere, incluindo a topografia, as vias públicas que o servem, com a indicação das respectivas redes de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais, abastecimento de água, electricidade, gás, comunicações e outras que sejam indispensáveis à natureza do edifício, na escala mínima de 1:2000.</p> <p>c) A planta geral do edifício e do conjunto em que se insere, perfis longitudinais e transversais e outras peças desenhadas, a escalas adequadas a cada caso, que representem as informações relativas à execução de todos os trabalhos exteriores do edifício, nomeadamente:</p> <p>(i) Movimento de terras exigido para a implantação do edifício e para a adaptação do terreno às condições definidas no projecto.</p> <p>(ii) Arruamentos, incluindo a estrutura da plataforma e do pavimento, com indicação dos perfis longitudinais e dos perfis transversais tipo.</p> <p>(iii) Redes de águas residuais, abastecimento de água, electricidade, gás, comunicações e outras, no terreno circundante do edifício, com discriminação dos traçados das valas, das secções das canalizações e demais características necessárias à sua execução.</p> <p>(iv) Muros de suporte, vedações e outras construções exteriores ao edifício, designadamente, plantas, cortes, alçados, pormenores e outros elementos gráficos indispensáveis à sua realização.</p> <p>(v) Projecto de espaços exteriores, nomeadamente, arborizações, ajardinamentos e outros trabalhos relativos ao tratamento paisagístico e mobiliário urbano, com a especificação das quantidades e das espécies de trabalhos a executar.</p>
Projecto de execução Elementos do projecto de Arquitectura		<p>a) Plantas cotadas de cada piso, pelo menos na escala 1:100, em que sejam indicadas:</p> <p>(i) A compartimentação e as respectivas dimensões.</p> <p>(ii) A localização e as dimensões dos diversos elementos de construção, nomeadamente escadas, ascensores, portas, janelas, varandas, envidraçados, instalações sanitárias e outros necessários à definição do edifício e da execução da obra.</p> <p>(iii) As linhas de corte e os pormenores que sejam objecto de outras peças desenhadas.</p> <p>(iv) A distribuição e a tipologia do mobiliário fixo.</p> <p>b) Cortes gerais do edifício, pelo menos na escala 1:100, que evidenciem a compartimentação, as dimensões dos vãos, as alturas e as larguras que interessem à construção, os diferentes níveis entre toscos, ou limpos, dos pavimentos e dos tectos, incluindo os tectos falsos, os locais destinados à passagem de canalizações e condutas, os elementos da estrutura, tais como pilares, vigas, lajes, escadas e outros elementos da construção, e outras informações necessárias à execução do edifício, nomeadamente, natureza e localização dos materiais de revestimento, articulações mais importantes entre diferentes elementos de construção e tipo de remates.</p> <p>c) Alçados do edifício, pelo menos na escala 1:100, que explicitem a configuração e dimensões das paredes exteriores e de todos os elementos nelas integrados, nomeadamente, janelas, portas, vergas, palas, varandas, a natureza e a localização dos materiais utilizados nos revestimentos e nos elementos de construção e outras informações que sejam indispensáveis à construção do edifício.</p> <p>d) Cortes de pormenorização, em escala adequada, que indiquem os aspectos construtivos de maior interesse para a execução da obra.</p> <p>e) Mapa de vãos, com indicação da tipologia de cada vão, das respectivas</p>

	<p>dimensões e quantidades, do modo de funcionamento, da natureza e das características dos materiais e das ferragens e de outras informações necessárias ao fabrico e montagem de caixilharias, portas, envidraçados e outros elementos.</p> <p>f) Mapa de acabamentos que defina claramente os materiais e a natureza dos acabamentos considerados para todos os elementos da construção.</p> <p>g) Pormenores de execução dos diferentes elementos de construção com a definição precisa das dimensões e da natureza das interligações dos diferentes materiais ou partes constituintes.</p> <p>h) Outras representações necessárias à definição da construção e à execução das obras.</p>
Assistência Técnica até à adjudicação da obra	<p>a) Esclarecimento de dúvidas relativas ao projecto durante a preparação do processo do concurso para adjudicação da empreitada ou fornecimento;</p> <p>b) Prestação de informações e esclarecimentos solicitados por candidatos a concorrentes, sob a forma escrita e exclusivamente por intermédio do Dono da Obra, sobre problemas relativos à interpretação das peças escritas e desenhadas do projecto;</p> <p>c) Prestação do apoio ao Dono da Obra na apreciação e comparação das condições da qualidade das soluções técnicas das propostas de molde a permitir a sua correcta ponderação por aquele, incluindo a apreciação de compatibilidade com o projecto de execução, constante do caderno de encargos, de variantes ou alterações que sejam apresentadas;</p>
Assistência Técnica durante a obra	<p>a) Esclarecimento de dúvidas de interpretação de informações complementares relativas a ambiguidades ou omissões do projecto, bem como elaboração das peças de alteração do projecto necessárias à respectiva correcção e à integral e correcta caracterização dos trabalhos a executar no âmbito da referida correcção;</p> <p>b) Apreciação de documentos de ordem técnica apresentados pelo empreiteiro ou Dono da Obra, incluindo, quando apropriado, a sua compatibilidade com o projecto;</p> <p>c) Proceder, concluída a execução da obra, à elaboração das Telas finais a ela respeitantes, verificando a conformidade das mesmas com o projecto de execução e das eventuais alterações nele introduzidas, de acordo com as informações fornecidas pelo Dono da Obra.</p>

Para além do projecto de Arquitectura, do projecto de estruturas, do projecto de escavações e contenção periférica, do estudo de condicionamento acústico e de verificação do comportamento térmico, estão previstos, para edifícios, os seguintes projectos específicos de instalações, equipamentos e sistemas em edifícios (Portugal, 2008b): a) Instalações, equipamentos e sistemas de águas e esgotos; b) Instalações, equipamentos e sistemas eléctricos; c) Instalações, equipamentos e sistemas de comunicações; d) Instalações, equipamentos e sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado; e) Instalações, equipamentos e sistemas de gás; f) Instalações, equipamentos e sistemas de transporte de pessoas e cargas; g) Sistemas de segurança integrada; h) Sistemas de gestão técnica centralizada.

No artigo 8.º do Anexo I da portaria nº 701-H/2008 de 29 de Julho (Portugal, 2008b) prevê-se que a “coordenação do projecto” tem como objectivo garantir a articulação da equipa de projecto e a integração das diferentes partes do projecto num todo harmónico. Assim, a coordenação de projecto entre as várias especialidades, deve começar a ser realizada pelo menos a partir do Programa base. Prevê-se ainda na Portaria a “programação do projecto” que visa o escalonamento das diferentes fases e actividades de cada interveniente.

#### 4.1.2 ESPECIFICIDADE DO PROJECTO DE CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

##### 4.1.2.1 SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO

As especificidades da madeira como material de construção, especialmente quando utilizado em componentes estruturais, são essencialmente resultantes da sua variabilidade, dos seus defeitos, das características de anisotropia, de higroscopicidade e de susceptibilidade à degradação por agentes biológicos e pela acção do fogo. A maior parte destes factores suscita preocupações que não estão do mesmo modo presentes nos projectos elaborados com recurso a tecnologias tradicionais (e.g. betão armado e alvenaria). Para enfrentar estas

singularidades, a garantia da qualidade potencial das soluções projectadas está em parte baseada em regulamentos, em normas e nas exigências de homologação dos produtos de construção. Mas a qualidade das construções resultará em primeiro lugar da qualidade do projecto, que não está, como é evidente, garantida necessariamente por todas as disposições normativas e regulamentares. O Arquitecto, como coordenador do processo e responsável pela concepção da forma arquitectónica será responsável não só pela satisfação imediata do cliente mas também pelo bom desempenho da construção ao longo do seu tempo de vida. Na construção em madeira, mais do que com outros materiais, a forma arquitectónica pode ter uma influência determinante na durabilidade da construção. A falta de conhecimento do material poderá conduzir o Arquitecto a conceber soluções que são adequadas às tecnologias correntes com as quais está habituado a lidar, mas inadequadas à construção em madeira.

Sobre a necessidade de um método específico para a construção em madeira, Melo (Mello R., 2007) em “Projectar em madeira: uma nova abordagem”<sup>261</sup>, considerou entre outros factores que o rigor construtivo, o nível e detalhe (ou a necessidade de pormenorização cuidada) são mais exigentes em projectos com estruturas de madeira do que com outros materiais. Já anteriormente Bittencourt e Hellmeister (1995) tinham apontado a exigência de rigor construtivo como uma das características da construção em madeira. Estes autores defenderam que “os sistemas construtivos em madeira são menos tolerantes que outros sistemas” (Bittencourt & Hellmeister, 1995, p. 10). Do ponto de vista do projecto, enquanto na construção tradicional a fachada tende a ser um elemento abstracto e homogéneo, na construção em madeira o fechamento e o acabamento (designado pelos autores como paramento) necessitam de um esforço de concepção maior (por haver maior complexidade na composição dos elementos construtivos). Enquanto a tecnologia das paredes de alvenaria é amplamente conhecida, não obrigando a um projecto detalhado, a tecnologia construtiva em madeira levanta mais problemas nomeadamente no que diz respeito às ligações entre componentes. Nesta perspectiva, este seria um entrave à difusão da tecnologia da madeira (no Brasil) porque obrigaria os profissionais a um esforço para o qual não estariam preparados. Para projectar em madeira, dizem os autores (Bittencourt & Hellmeister, 1995, p. 9), exige-se do profissional conhecimentos sobre o material, os detalhes, as ligações, os sistemas estruturais e o processo de produção da construção.

A necessidade de um maior rigor de projecto e dos detalhes advém não só da natureza das ligações entre componentes de madeira, mas também do facto de os produtos de madeira estarem associados à construção industrializada. Sendo assim, os autores alertam que a ideia de simplicidade associada à construção em madeira é perniciosa uma vez que soluções simplistas dificilmente responderão ao desempenho esperado. A importância dos detalhes é muito enfatizada neste estudo (Bittencourt & Hellmeister, 1995, p. 11), considerando-se que o seu objectivo não será apenas a comunicação à obra, mas principalmente o “assegurar a compatibilidade entre os diferentes elementos construtivos”. Ou seja, nesta perspectiva considera-se que o detalhe é o ponto de partida e não apenas o resultado para solucionar problemas técnico-construtivos.

<sup>261</sup> Em “Projectar em madeira: Uma nova abordagem” (Mello R., 2007) considera-se que a concepção arquitectónica da construção em madeira necessita de procedimentos específicos. Duas das questões específicas que o autor coloca inicialmente n este estudo são: e “Como se aplica a relação entre arquitectura e estrutura nas obras em madeira e qual a sua contribuição para a concepção arquitectónica?”. Os aspectos que diferenciariam a construção em madeira seriam segundo este estudo: 1 - Dissociação entre estrutura, fechamentos e acabamentos (o que na verdade não acontece em todos os sistemas construtivos); 2 - Técnica flexível e evolutiva; 3 - Rigor construtivo; 4 - Detalhe; Interface entre arquitectura e estrutura. A nosso ver, alguns destes princípios (1e 2) não podem ser considerados específicos da construção em madeira. São antes o resultado de um determinado entendimento da construção em madeira.



Para além das especificidades da madeira, cada sistema construtivo apresenta as suas singularidades, com potencialidades mas também com limitações que podem condicionar à partida o desenvolvimento de determinadas soluções arquitectónicas. As especificidades do projecto de Arquitectura com estruturas de madeira são apontadas por vários autores de forma diferente em função dos sistemas construtivos de madeira que estão a considerar. A abordagem a este tema por dois autores como Steiger e Deplazes, evidencia como diferentes sistemas podem suscitar diferentes perspectivas de projecto.

Steiger em “Timber construction” (Steiger, 2007, p. 8) vai ao encontro de Mello (2007) e Bittencourt e Hellmeister (1995) afirmando que os procedimentos utilizados com a construção monolítica (por exemplo o betão armado), são muito diferentes dos da construção em madeira. Pensando provavelmente nos sistemas reticulados, refere que o conceito de construção em madeira envolve principalmente a definição de ligações entre diversos componentes. Aponta-se ainda a necessidade de ser seguido um método que contemple uma ordem de procedimentos pré definidos (definição de uma grelha estrutural, pilares, vigas principais, vigas secundárias, revestimentos estruturais, etc.), enfatizando a importância da concepção apoiada numa grelha estrutural de base. Do ponto de vista do projecto, a construção em madeira pressupõe, segundo este autor (este ponto não é consensual em todos os autores), uma abordagem mais sistemática com maior grau de detalhe e de trabalho de desenho. Nesta linha, na execução dos desenhos de projecto, deveria ter-se por exemplo o cuidado de mencionar a direcção das fibras dos elementos de madeira através da utilização de tramas adequadas (Steiger, 2007, p. 9).

Deplazes (Wood: indifferent, synthetic, abstract - plastic, 2005b, p. 77), em sentido contrário, considera que o processo actual de fabrico de elementos de madeira lamelada colada se baseia em processos de pré-fabricação associados à intervenção de robots e operações de serração CNC, adequadas ao desenho *normalizado* realizado em CAD nos ateliers de Arquitectura. Este processo concorreria assim para um maior rigor na correspondência entre desenhos e construção. Por outro lado, a definição de um projecto modular, referido por Steiger (quando menciona a necessidade de uma grelha estrutural), passa a ser um procedimento irrelevante quando se utilizam sistemas inovadores como este. Este autor afirma que os novos produtos (particularmente os painéis tipo CLT) encorajam novos métodos de projecto (*design*) e de construção (Deplazes, 2005b, p. 78). Ou seja, o elemento básico da construção passa a ser o painel (como se de uma laje se tratasse) e já não os elementos lineares, podendo os vãos ser abertos em qualquer zona dos planos da construção sem comprometerem a segurança estrutural, tal como acontecia com o sistema de reticulados.

Deplazes chama a atenção para aquilo que considera ser uma tendência para a simplificação da construção no sentido de se adoptarem cada vez mais painéis multifuncionais (e.g. paredes com o mínimo de camadas e com uma única camada a exercer funções estruturais, higrótérmicas e de estanquidade), evitando-se - supostamente - a tradicional construção por estratos<sup>262</sup> (Deplazes, 2005a, p. 94). Esta argumentação é completada pela constatação de que as novas soluções de painéis permitem receber revestimentos que podem ser de outros materiais que não a madeira, adoptando-se uma lógica que se assemelha à da construção “sólida” em betão.

---

<sup>262</sup> Esta afirmação de Deplazes não é completamente verdadeira uma vez que a construção com painéis de lamelados cruzados colados, à qual se refere, embora ofereça uma maior homogeneidade aos componentes construtivos, integra sempre diferentes camadas de componentes de isolamento, estanquidade e revestimentos, para além da estrutural.

O diferente discurso destes dois autores vem alertar para a necessidade de encarar a construção em madeira como um universo muito diversificado, pelo que as “especificidades” irão variar em função dos sistemas estruturais considerados. As observações de Steiger sobre a construção em madeira como estando associada a um processo de projecto mais moroso e sujeito a uma modulação geométrica só se compreendem em referência aos sistemas porticados e reticulados. Ao contrário, Deplazes pensando nos painéis pesados de lamelados colados, considera o processo de projecto mais simplificado e liberto dos constrangimentos de uma qualquer modulação. Assim para além das diferenças entre a construção corrente em betão armado e a construção em madeira, deve ser no seio da própria construção em madeira que, no âmbito da definição de uma metodologia de apoio ao projecto de Architectura, se devem procurar também as singularidades.

#### 4.1.2.2 INTERVENIENTES

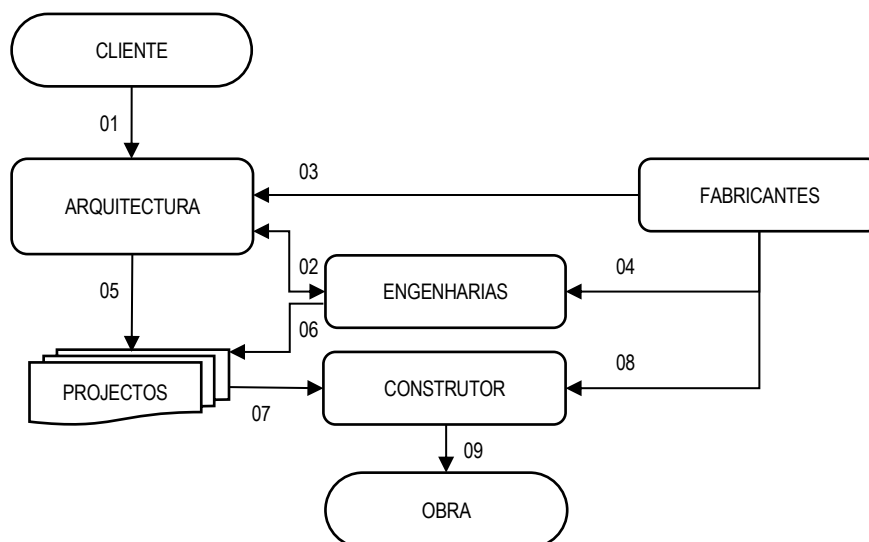
O sistema de comunicação entre clientes, Arquitectos, Engenheiros projectistas e fabricantes/construtores, baseia-se no estabelecimento de uma hierarquia e numa divisão de responsabilidades aceite pelos diversos intervenientes. Um dos pressupostos aceites é aquele que coloca o Arquitecto no papel de coordenador do projecto e de representante do dono da obra perante o construtor. O contacto com as empresas do sector permitiu observar que o projecto e a construção de casas de madeira pressupõe um sistema de relações entre intervenientes com singularidades próprias, diferenciadas do processo corrente de projecto e construção<sup>263</sup>.

No processo de projecto corrente, do ponto de vista dos fluxos de informação e da hierarquia ao nível do controlo dessa informação, o Arquitecto é actor chave na ligação que se estabelece entre os vários actores. O Fluxograma 5 representa de forma simplificada<sup>264</sup> as principais relações entre os agentes envolvidos. O processo inicia-se com um cliente que contrata um Arquitecto (ou gabinete de Architectura) ao qual apresenta um problema, fornecendo-lhe informação ao nível de um programa preliminar (01); o Arquitecto, para além do desenvolvimento normal do projecto descrito nos capítulos anteriores, formará uma equipa de consultores das várias especialidades, à qual recorrerá para completar o projecto a entregar ao cliente, às entidades licenciadoras e aos construtores (02); simultaneamente o Arquitecto procede à análise, levantamento e avaliação dos produtos existentes no mercado e que se podem revelar adequados à concretização do seu projecto (03); os Engenheiros procedem de forma semelhante em relação aos produtos que deverão integrar nos projectos das especialidades (04); a equipa de Architectura e Engenharia desenvolve o projecto de Architectura e o projecto das especialidades em resposta ao programa definido, culminando com o projecto de comunicação à obra (05 e 06); o construtor com base neste projecto de execução planeia a obra, afectando os meios e os equipamentos necessários (07); recorrendo ao mercado de produtos de construção conforme as especificações contidas no projecto (08); procedendo finalmente aos trabalhos que dão origem à construção da obra projectada (09).

<sup>263</sup> O projecto de habitação em madeira pode ser coordenado por: 1) Arquitectos; 2) empresas de casas de madeira ou; 3) donos de obra.

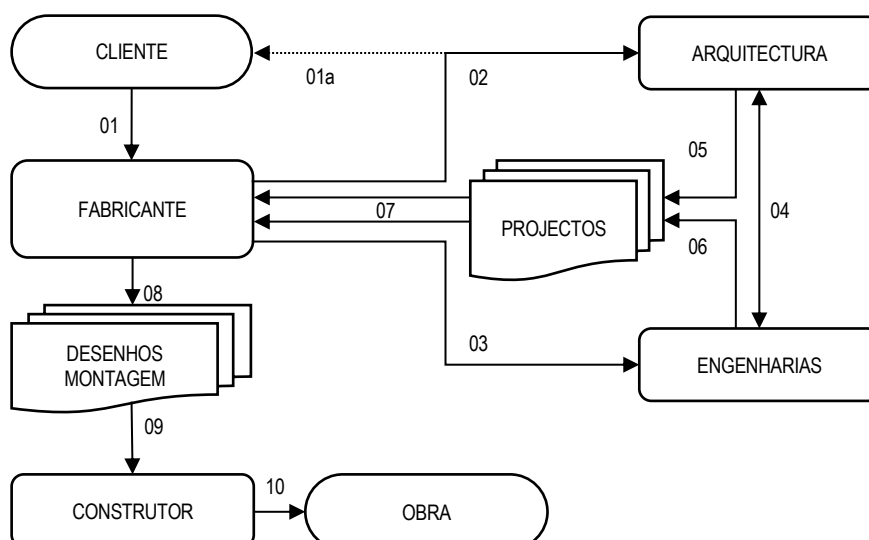
<sup>264</sup> Eliminando fluxos secundários que ocorrem na realidade (em intensidade, tempos e sentidos diferentes), omitindo-se também alguns dos intervenientes (entidades licenciadoras, etc.) por estarem subentendidos.

Fluxograma 5 - Hierarquia dos actores no processo corrente de projecto



No processo de projecto de habitação em madeira, em Portugal e noutros países, o panorama é normalmente diferente. O Arquitecto, de actor independente e fundamental passa a ter um papel secundário. O fabricante, que normalmente é também construtor, assume esse papel relacionando-se directamente com o cliente, oferecendo os serviços que são normalmente prestados pelo Arquitecto (gabinetes de Arquitectura). O fabricante não prescinde necessariamente do Arquitecto, sendo este absorvido no interior da estrutura do fabricante, ou tornando-se um consultor que não domina o processo global. No Fluxograma 5 apresenta-se, por contraponto ao processo de projecto corrente, um esquema simplificado do processo coordenado por uma empresa típica do sector da construção e fabrico de casas de madeira. Deve-se no entanto referir que este modelo é meramente teórico, tendo-se também constatado que a maior parte das empresas do sector das casas de madeira estão abertas a integrar processos de natureza diferente.

Fluxograma 6 - Hierarquia dos actores no processo corrente de projecto de casas de madeira.



Neste processo alternativo (cf. Fluxograma 6), o cliente dirige-se à empresa fabricante (que é normalmente também construtora) com um problema, fornecendo-lhe informação, por vezes já ao nível de um programa preliminar (01) podendo eventualmente ter já consultado um Arquitecto para apoio à realização de um estudo prévio (01a); em resposta o fabricante obtém

apoio necessário tanto do Arquitecto (02); como das Engenharías (03); de forma integrada (04); concretizando o projecto de Arquitectura e das especialidades (05 e 06); que é remetido ao fabricante (07); que controla ou define, em função das condicionantes de fabrico, o projecto de montagem (08); que é comunicado ao construtor (09); que executará a obra (10).

Neste segundo modelo, que para além do domínio da empresa de fabrico e construção contempla ainda a construção industrializada, a boa concepção de soluções por parte dos projectistas (Arquitectos e Engenheiros) está dependente da sua capacidade de produzir conceitos apropriados ao fabrico. Davis (Davies, *The prefabricated home*, 2005) considera que especialmente na construção pré-fabricada, a solução espacial e a solução técnica, embora relacionadas entre si, como sempre foi defendido na teoria da Arquitectura do Movimento Moderno, exigem diferentes níveis de conhecimento e nem sempre o “designer espacial” é o melhor profissional para resolver as soluções técnicas. A industrialização dos produtos e dos processos, nessa perspectiva, cada vez mais conduz ao afastamento dos Arquitectos das soluções técnicas, transferindo-as para as empresas.

Cada empresa de casas de madeira acaba por desenvolver os seus próprios processos, com normas, sistemas e detalhes específicos. Sendo assim, a necessidade de diálogo entre projectistas e empresa é vital. Watts (2014), refere-se a um exemplo que se reporta à relação entre projectistas e fabricantes de sistemas de fachada - e que pode ser directamente transposto para a relação estabelecida entre os Arquitectos e as empresas de construção de casas de madeira - dando conta dos problemas associados a um défice ou a um excesso de informação:

*“A dialogue ensures that an optimised level of information is provided for the prototype: too much information can lead to the facade system to become more expensive than would be the case if the fabricator were allowed to provide more economic methods of manufacture; too little information can result in the manufacturer being required to solve design issues that could have been addressed and resolved at a much earlier stage”. (Watts, 2014, p. MCH\_8)*

Do ponto de vista do cliente das casas de madeira, a valorização do construtor-fabricante como coordenador de todo o processo pode parecer lógica uma vez que tanto os sobrecustos da informação em excesso como da ausência de informação são evitados se se prescindir da coordenação do Arquitecto. O papel do Arquitecto pode neste contexto ser menorizado em relação ao do construtor-fabricante que pela sua especialização e experiência, pode oferecer aos clientes garantias adicionais de segurança e qualidade.

A desvalorização do Arquitecto é mencionada também por outras fontes (Fery, 2012) que indicam que, por razões de eficácia, o Engenheiro de estruturas seria o mais habilitado para o papel de coordenador do processo. De facto a construção em madeira é um domínio que remete para exigências técnicas muito específicas e que nem sempre permitem a adopção dos mesmos métodos a que os Arquitectos estão habituados. Assim, muitas vezes a construção em madeira estará naturalmente dominada por técnicos com competências específicas (especialistas) e por empresas que dominam o processo com base na experiência adquirida. Os clientes procurarão menos os Arquitectos quanto menor for o seu desejo de obter um projecto singular, elaborado e personalizado.

As diferentes abordagens ao projecto podem em parte ser justificadas pelo nível de singularidade que cada cliente pretende do seu projecto. É possível considerar três tipos de abordagens ao projecto tendo em conta o grau de singularidade/personalização: 1) o projecto personalizado; 2) o projecto adaptado a partir de um projecto tipo; ou 3) o projecto tipo proveniente de um catálogo. O Arquitecto terá naturalmente um papel gradualmente menor, quanto mais pré-definidas estiverem as referências a utilizar para a concepção do projecto.

Affentranger (2005, p. 33) considera que intervenção do Arquitecto se justifica, mesmo tendo em conta a oferta das soluções de catálogo pelas empresas e a segurança que elas podem suscitar no cliente. Estas casas de catálogo têm vantagens que são principalmente económicas (redução de custos com o projecto, redução de custos com a repetição de processos e componentes, e previsão exacta do preço final), mas as diferenças financeiras de trabalhar com o Arquitecto poderão não ser realmente significativas se se tiver em conta o já referido trabalho de consultoria independente e as garantias de qualidade que o projectista pode oferecer. Ou seja, o Arquitecto não tem laços de dependência profissional ou comercial relativamente a fabricantes ou construtores específicos. Todos os seus esforços serão assim mobilizados para defender os interesses do cliente.

Julius Natterer (2008, p. 76) reforça o aspecto da “independência” dos profissionais, considerando que os Arquitectos, os Engenheiros de estruturas e outros especialistas são designers independentes que em paralelo com as suas actividades de planeamento têm a importante tarefa de assegurar a qualidade do projecto global. São responsáveis em primeiro lugar pelo cliente, devendo proporcionar uma construção económica e sem defeitos, mas têm também um compromisso com o público e com o ambiente<sup>265</sup>. Quanto à “segurança” que as empresas oferecem, o Arquitecto pode contrapor com os argumentos da independência, da competência (que terá que adquirir), com a garantia dada pela utilização de um método de projecto e com a “segurança” dada pela colaboração com as empresas de casas de madeira.

Quanto ao problema de poder haver uma substituição do Arquitecto por outros profissionais mais qualificados nos projectos com estruturas de madeira, deve-se tentar perceber porque é que este problema se coloca. Se num determinado projecto se pode prescindir do Arquitecto é porque as exigências e requisitos de projecto não contemplam a qualidade que o Arquitecto qualificado pode conferir ao projecto, ou seja: uma visão global e integradora. Se o Arquitecto for qualificado e utilizar as metodologias adequadas, os papéis do Arquitecto e do Engenheiro continuarão a ser complementares como sempre têm sido. Kolb (2008) e Natterer (2008) sublinham a importância do papel do Arquitecto na concepção do projecto, na coordenação das especialidades e especialmente na especificação dos requisitos e do carácter da estrutura pretendida. O papel do Engenheiro de estruturas, por seu lado, centra-se naturalmente no desenvolvimento de conceitos estruturais a partir desses requisitos e na execução final da solução estrutural (Natterer, Part 4 Timber engineering, 2008).

Apesar de vários autores considerarem que a intervenção do Arquitecto é importante mesmo na construção em madeira industrializada, outros autores chamam a atenção para a mudança do âmbito da sua intervenção em relação ao projecto tradicional. As inovações e as novas tendências na indústria da construção conduzem a alterações nos processos e no método de projecto e nas funções do Arquitecto. Dada a diversidade de sistemas e materiais existentes no mercado, o Arquitecto tem cada vez mais dificuldade de os conhecer em profundidade, ficando por isso dependente das informações específicas que cada empresa tem sobre os seus produtos<sup>266</sup>. Assim, no âmbito dos sistemas estruturais industrializados de madeira, a delegação do conhecimento dos aspectos tecnológicos nos especialistas (integrados nas

<sup>265</sup> Natterer chega a considerar que a estrutura de madeira deve ser projectada independentemente das directivas fornecidas pelo fabricante.

<sup>266</sup> A realidade do Reino Unido por exemplo mostra que o processo corrente de construção com os painéis de madeira reticulados envolve o fornecimento dos componentes pré-fabricados por uma empresa especializada, mesmo que seja outra empresa a construir a obra. Menos comuns são os processos em que o fabrico é realizado por um construtor não especializado. Essas empresas especializadas desenvolvem os seus próprios métodos conferindo aos sistemas grandes variações de fabricante para fabricante. O conhecimento de cada sistema acaba por ficar concentrado na própria empresa através dos seus profissionais. Estas empresas podem em geral fornecer *kits* em várias modalidades que integram o design e detalhes da própria empresa, podendo prever o design de projectistas externos (TRADA, 2008).

empresas fabricantes) poderá libertar o Arquitecto da tarefa de definição dos detalhes “internos” dos próprios sistemas construtivos. A mudança do processo de construção *in situ* para a pré-fabricação permite aos fabricantes/construtores obterem um controlo sobre a maior parte do processo. Por outro lado, a maioria dos sistemas são flexíveis o suficiente para suportarem qualquer projecto singular. Deplazes (2005a, p. 95) refere que no limite, serão apenas os vãos máximos que influenciam o desenho espacial (*lay-out*), afirmando que hoje é possível solicitar orçamentos a vários fornecedores de diferentes sistemas com base em desenhos à escala 1/200, sem necessidade de grande preocupação com os detalhes:

*“The days in which the architect drew the entire loadbearing timber construction in great detail are now over” (Deplazes, 2005a, p. 95).*

Segundo este ponto de vista o desenho de detalhe passa a ser da responsabilidade do fornecedor que tem também o dever de verificar a conformidade da solução com os critérios de comportamento definidos para a construção. Affentranger descreve também esta tendência no sentido da simplificação referindo-se à utilização de painéis (reticulados ou maciços) na construção em madeira. A substituição dos elementos lineares (pilares e vigas, montantes e vigotas) por elementos planos (painéis) conduz à substituição dos conceitos tradicionais da parede e da cobertura na construção em madeira. Deste modo, a responsabilidade do Arquitecto passa a centrar-se apenas no tratamento das superfícies, na posição dos vãos (portas e janelas), na textura e na “tectónica”. Tudo o mais, segundo este autor, será da responsabilidade do construtor e do Engenheiro. A construção em madeira passa a ser mais acessível e simples, perdendo-se no entanto o espírito de ofício, do design e do conhecimento dos materiais, cultivado por Arquitectos como Peter Zumthor (Affentranger, 2005, p. 34).

Os Arquitectos, as empresas e os Engenheiros são intervenientes cuja responsabilidade é fundamental no projecto, mas os clientes são os “interveniente-chave” de todo o processo uma vez que são eles que estabelecem as condições iniciais e assumem as decisões finais de escolha e da compra de uma casa de madeira. As várias especificidades da construção em madeira dão origem a percepções nem sempre positivas por parte dos potenciais clientes. Em relação a outros materiais, a madeira destaca-se por ser um material que suscita sentimentos mistos muito marcados por preconceitos.

Um inquérito<sup>267</sup> efectuado na Alemanha no final de 2006 (Gold & Rubik, 2008) sobre a percepção a construção em madeira identificou tanto as características que motivam a rejeição como as que promovem atracção por parte dos utentes. De entre os factores negativos destacam-se aspectos como a combustibilidade, a durabilidade, a qualidade e as propriedades tecnológicas da madeira como material de construção (robustez e estabilidade, combustibilidade, acústica, isolamento e estanquidade)<sup>268</sup>. Alguns desses factores não são decisivos no momento de compra de uma casa ou da escolha do material de construção, mas entre os factores que mais negativamente contam para a escolha e compra de uma casa de madeira sublinha-se a combustibilidade, a necessidade de manutenção e o elevado preço (Gold & Rubik, 2008, p. 308). Os factores que valorizam positivamente a imagem da madeira

<sup>267</sup> O inquérito efectuado por telefone a 1004 pessoas no final de 2006 dá conta da estabilização no número absoluto de casas em madeira nesse ano, embora confirme um aumento na percentagem do parque habitacional de novas habitações unifamiliares e bifamiliares.

<sup>268</sup> Estudos anteriores em que se entrevistam consumidores e intermediários Austríacos e Alemães, concluem que os atributos da madeira mais importantes na escolha são: o preço, as características visuais e a qualidade técnica.

são a estética, o conforto e as prestações ambientais<sup>269</sup>. Mas estes factores positivos não são, segundo os autores, os decisivos no momento de efectuar a compra de uma casa.

Entrevistas pós-ocupação a habitantes de casas de madeira revelam que normalmente estes expressam satisfação com as habitações e com a tecnologia da madeira em particular. Nestes casos as decisões de compra relacionaram-se com o conforto, com as prestações ambientais, com os prazos de construção, com o bom isolamento térmico e com a salubridade conferida pela madeira. Adicionalmente, são também mencionados factores como o preço, o prazo de construção e uma atitude positiva (prévia) para com a madeira. No entanto não deixam de ser referidos aspectos negativos que se relacionam com a insuficiente secagem da madeira colocada em obra, com as exigências de manutenção e com a durabilidade (Gold & Rubik, 2008, p. 305).

A postura genérica dos clientes em relação à construção em madeira na habitação será diferente em diferentes países. Em Portugal será natural que o potencial cliente de uma casa de madeira tenha preconceitos relativamente a um produto que não conhece. Na América do Norte, onde as casas de madeira são a norma, o preconceito dá lugar a uma atitude natural. Bittencourt e Hellmeister (1995) referem que em países onde a madeira não é o material corrente esta é relacionada com valores associados ao “sistema de signos do material” como o “natural” e o “pitoresco”, em oposição aos valores urbanos e tecnológicos. Ao contrário, em países onde a construção em madeira está difundida, a habitação em madeira é entendida como um bem de consumo (que responde a padrões de conforto e segurança), sendo associado com naturalidade a um valor de uso.

Gold e Rubik (2008), consideram em conclusão que a apreciação geral em relação à madeira, entre Clientes, Arquitectos e Engenheiros, é marcada por factores de apreciação muito positiva como o conforto, a estética e a ecologia. Verifica-se no entanto preconceitos muito negativos quanto comportamento da madeira relativamente à resistência, durabilidade e estabilidade, concluindo-se que mesmo em países com tradição na construção em madeira, como na Alemanha, se encontram grandes resistências à sua utilização. De entre todas as características, a combustibilidade continua a ser provavelmente aquela que mais promove a desconfiança das pessoas:

*“Most problematic, the perception of timber as a highly flammable material is deeply rooted in people’s minds.” (Gold & Rubik, 2008)*

#### 4.1.2.3 PROJECTO

Observou-se até aqui que a especificidade dos sistemas e construção em madeira, e o papel dos intervenientes conduzem a processos de projecto diferenciados daqueles a que o Arquitecto está habituado. Mas Natterer (2008, p. 78), descrevendo a fase de definição do programa, elabora uma tabela (Tabela 39) com os elementos a considerar (*checklist*) para especificar estruturas de madeira, no qual não se observam elementos que sejam distintivos em relação a outros tipos de projecto. Mesmo a referência aos factores chave das cargas e do tipo de utilização que o Engenheiro deve ter em conta pela sua influência decisiva no *design* não parecem ser exclusivos da construção em madeira.

<sup>269</sup> Outros estudos afirmam que os consumidores valorizam a qualidade, *design*, preço e durabilidade, mais do que as boas prestações ambientais. Ainda outros estudos referem que os promotores, Arquitectos e engenheiros mostram grande simpatia pela madeira como material de construção, mas na prática, preferem outros materiais. Um estudo suíço mostra que esses profissionais consideram a estética como a motivação mais importante para utilizar a madeira. Por outro lado, (outro estudo) o preço e a qualidade construtiva (*building physics*) não são consideradas as maiores vantagens da madeira (Gold & Rubik, 2008, p. 305).



Tabela 39 - Aspectos a considerar no programa de projecto (Natterer, Part 4 Timber engineering, 2008, p. 78).

Condicionantes	Localização	Utilização	Equipamentos	Cargas
Protecção ao fogo	Lote		Ventilação	Peso próprio
Acústica	Infraestruturas	Espaço livre	Aquecimento	Vento
Direitos dos utentes	Orientação	Iluminação	Iluminação artificial	Neve
Índice de espaços	Topografia	Protecção ao fogo	Acústica	Cargas variáveis
Índice de volumes	Exposição solar	Layout de planta	Água	Forças de sucção
Envolvente construída	Contexto envolvente	Funções	Águas residuais	Sismo, etc.
Linhas gerais da construção	Condições de subsolo	Acesso vertical	Elevadores, escadas	
Materiais				
Ecologia				

O carácter singular da construção em madeira torna-se mais evidente nas fases de concepção que integram a definição da estruturas e dos detalhes. Já foi referido que alguns autores consideram que, a madeira obriga os profissionais a um esforço suplementar de projecto. Mas também foi referido por outros autores que, noutros contextos, os detalhes pormenorizados pelo Arquitecto deixam de ser essenciais. Existirão então duas possibilidades de abordagem inicial ao projecto: 1) A Arquitectura é concebida independentemente da solução tecnológica (ou seja, a solução formal arquitectónica é concebida e escolhida anteriormente à definição das soluções construtivas), não exigindo do Arquitecto conhecimentos muito diferentes dos correntes; e 2) A solução formal surge a par da solução construtiva, exigindo conhecimentos específicos sobre construção em madeira. Se o segundo caso parece mais exigente, o primeiro não deixa de obrigar a um esforço de escolha de uma solução estrutural que seja adequada à solução formal. Em ambos os casos o Arquitecto que pretenda efectuar escolhas conscientes deve ter conhecimento das opções possíveis ao nível dos sistemas construtivos em madeira disponibilizadas pelas empresas fabricantes e pelas indústrias de materiais de construção.

Perante essas duas possibilidades de abordagem ao projecto, três perfis de Arquitecto podem surgir: 1) O Arquitecto que não conhece em profundidade a construção em madeira, mas pretende iniciar-se na construção em madeira ou recorrer pontualmente aos sistemas construtivos em madeira; 2) O Arquitecto conhecedor da construção em madeira que segue uma abordagem integrada, explorando as potencialidades do material através de um projecto com grande investimento nos detalhes; 3) O Arquitecto conhecedor a tal ponto a construção em madeira que se tornou um especialista<sup>270</sup>.

Em Portugal os Arquitectos estarão inseridos maioritariamente no primeiro grupo, sendo para eles necessário produzir um ajustamento aos procedimentos e metodologias, como já foi anteriormente referido, quando se abordaram as atribuições dos intervenientes. Para além da delegação de uma parte significativa do trabalho no fabricante ou no construtor, principalmente no respeitante aos desenhos de execução, alguns autores chamam a atenção para a necessária modificação do calendário das fases de projecto que se tornam mais curtas. Por outro lado, em relação ao projecto tradicional, passa-se a atribuir maior peso ao planeamento da obra e à produção dos componentes (Deplazes, 2005a; Affentranger, 2005; Kolb, 2008) que são muitas vezes condicionadores da própria concepção

Bittencourt e Hellmeister (1995) apresentam uma tese referenciada ao contexto Brasileiro<sup>271</sup> “Concepção arquitectónica da habitação em madeira” onde defenderam que a “técnica de

<sup>270</sup> É possível encontrar vários gabinetes de projecto especializado em madeira, como por exemplo o de Hermann Kaufmann na Áustria (Kaufmann, 2014) e o Timber Design Limited no Reino Unido (Timber Design Limited, 2014).

<sup>271</sup> A fonte refere-se a um artigo que sintetiza as conclusões da tese.

construção contemporânea moderna em madeira<sup>272</sup> modifica a sequência organizacional do processo concepção-execução”, passando o projecto a conter novos valores na perspectiva arquitectónica<sup>273</sup> (Bittencourt & Hellmeister, 1995, p. 5).

Tabela 40 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento de um projecto arquitectónico para habitação em madeira segundo Bittencourt e Hellmeister (1995).

	FINALIDADE		ACTIVIDADES	ANÁLISE	PROJECTO
ESTUDOS INICIAIS	ESTUDOS INICIAIS	Identificação das necessidades Formulação dos problemas	1. Estudos iniciais 1.1. Programa de necessidades 1.2. Formulação técnica dos problemas	Informação sobre as expectativas do usuário. Colecta de dados peculiares e gerais para descrever o projecto.	Descrição do programa de necessidades Levantamento planimétrico Sondagem Legislação, normas e códigos
PROJECTO PRELIMINAR	CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA OS PROBLEMAS	Estudos e apresentação das alternativas do partido arquitectónico e síntese dos sistemas construtivos propostos	1.1. Caracterizações técnicas 1.1.1. Estrutura 1.1.2. Fechamento 1.1.1.1. Ligações 1.1.2.1. Ligações	Análise comparativa das alternativas propostas	Estudos alternativos das condições: Técnicas - métodos e técnicas construtivas Integração funcional - atendimento ao programa de necessidades quanto: ambientes, áreas, relacionamento funcional, etc.
ANTEPROJECTO ARQUITECTÓNICO	DEFINIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	Definição do partido arquitectónico e do sistema construtivo Análise dos problemas construtivos a serem detalhados Integração com os projectos específicos complementares	1.1. Estruturação do sistema construtivo 1.2. Solução arquitectónica 1.3. Delineamento do processo construtivo	Análise e avaliação técnica, arquitectónica e custos	Desenho em escala adequada para verificar as dimensões ambientais e a adequação com a função Identificação dos entraves do sistema construtivo proposto, estudo das soluções a serem detalhadas
PROJECTO DE PREFEITURA	PROJECTO DE PREFEITURA	Atendimento às exigências legais	1.1. Execução		Implantação Plantas Cortes e alçados Memórias, etc.
PROJECTO EXECUTIVO ARQUITECTÓNICO	DETALHAMENTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	Projecto arquitectónico integral, definindo as etapas da produção Projecto de fabricação dos componentes construtivos Projecto do processo de montagem	1.1. Projecto arquitectónico integral 1.1.1. Projecto da produção 1.2. Projecto de fabricação dos componentes	Interação dinâmica entre concepção e execução, essencialmente com a participação do carpinteiro	Desenho do projecto arquitectónico integral Detalhamento do processo de fabricação de componentes Detalhamento do processo da produção, etapas de desenvolvimento, plano da montagem dos componentes construtivos na obra Detalhamento dos projectos específicos complementares

Bittencourt e Hellmeister (1995) propõem um meta-projecto para a construção da habitação em madeira assumindo quatro fases de projecto: “Estudo preliminar” (estudo prévio), “Anteprojecto” e “Projecto de aprovação” (projecto base) e “Projecto executivo e detalhado” (projecto de execução). A fabricação por um lado e a montagem por outro, são conceitos relegados para segundo plano na construção tradicional, mas assumem especial importância na construção em madeira. Embora os desenhos de fabrico possam ser atribuídos ao fabricante, o processo de montagem deve ser equacionado num “plano de montagem”. A metodologia empregue aproxima-se do desenvolvimento dos produtos industriais em que a prioridade é a racionalização do processo: optimização da matéria-prima (evitar cortes que produzam desperdício) e optimização de actividades de fabrico (Bittencourt & Hellmeister, 1995, p. 18). Os autores consideram que o projecto preliminar se inicia com uma grelha modular e ordenadora própria da construção em madeira, sendo no anteprojecto que se representa a solução final, com a definição do sistema construtivo e com a peculiaridade de serem já nesta fase definidos os detalhes construtivos. O chamado “projecto detalhado ou executivo” deve considerar principalmente as condições para a fabricação dos componentes construtivos e a respectiva montagem.

Natterer et al (1999) consideram que a responsabilidade do Arquitecto deve incidir sobre os aspectos funcionais e estéticos, sendo o Engenheiro responsável por integrar o seu modelo estrutural no modelo arquitectónico. Estes autores consideram que o Arquitecto deve assumir

<sup>272</sup> Note-se que os autores associam este princípio apenas à construção “moderna” em madeira, excluindo sistemas de construção tradicional em madeira (como a construção com toros).

<sup>273</sup> Os autores assinalam que nos contextos onde “as técnicas construtivas em madeira são amplamente conhecidas pelos profissionais da construção, os detalhes pormenorizados deixam de ser imprescindíveis. Aqui, os projectistas orientam as preocupações para as questões estéticas e para o desenvolvimento de novas tecnologias (Bittencourt & Hellmeister, 1995, p. 11).

como primeiro critério a realização do seu conceito artístico através do entendimento da forma como um todo (Natterer, 2008). Já o critério de qualidade primordial do desenho estrutural do Engenheiro deve ser a “legibilidade do fluxo de forças”, incidindo as suas preocupações na definição do tipo estrutural, no tipo de materiais, e nas ligações entre componentes. Nesta perspectiva deve ser estabelecido um processo de colaboração desde cedo entre ambos os profissionais, através da definição de uma base comum de critérios que harmonizem as exigências funcionais e construtivas e os custos envolvidos. O primeiro esquema desenhado será da responsabilidade do Arquitecto, integrando considerações funcionais, de consumo energético e de aspecto, com o qual pode estabelecer uma base de diálogo com os outros técnicos, incorporando os contributos das diversas especialidades.

Também Kolb (Kolb, 2008, pp. 26,108) defende a necessidade de integrar o especialista de Engenharia de estruturas numa fase muito inicial (estudo preliminar) para assegurar a definição do conceito estrutural com base nos requisitos definidos em conjunto com o Arquitecto. Esta colaboração deve garantir que o *design* do edifício e o sistema (ou o subtipo de sistema<sup>274</sup>) sejam harmonizados desde o início.

As tarefas do projecto de execução (detalhe) incluem, segundo Kolb (Kolb, 2008), a definição clara das dimensões, a caracterização dos elementos de construção, as junções entre componentes e todos os pormenores relevantes. Estes aspectos são em grande parte condicionados pela grelha geométrica conceptual que rege a construção (vãos em planta e corte), determinando o maior ou menor número de juntas entre componentes e o dimensionamento desses componentes. Todas as decisões em todas as fases de projecto são enquadradas naturalmente pelas exigências de comportamento térmico, de segurança contra incêndio, de isolamento acústico, de controlo de humidade e de estanquidade, para além dos critérios de durabilidade e manutenção. Este autor compara a construção tradicional e a construção em madeira salientando por um lado que para esta última há necessidade de elaborar o projecto em muito menos tempo (porque parte do “projecto” é remetido para o fabricante) e por outro lado que a colaboração com o fabricante deve ser realizada desde muito cedo.

Kolb alerta para a distinção entre o planeamento do processo de projecto, nos quais se distinguem o projecto do Arquitecto e do Engenheiro de estruturas, do projecto de fabrico realizado pelos especialistas ligados ao fabricante. Na Engenharia da madeira, a Engenharia estrutural está normalmente combinada com o planeamento (projecto) da construção em madeira e o fabrico (Kolb, 2008, p. 25) Acrescenta o autor que a interface entre os desenhos do Arquitecto e os desenhos da produção e da construção em madeira não é um processo fácil, sendo necessários protocolos de comunicação e entendimento claros porque há muitas opções disponíveis que influenciam o *design* da Arquitectura.

Para Natterer (2008, p. 78) as tarefas do Arquitecto nos projectos de construção em madeira consistem nos seguintes passos:

- 1 - Clarificar os dados do programa (organização espacial interior, condições da envolvente, integrando as condicionantes funcionais e regulamentares relevantes).
- 2 - Desenhar (projectar) um conceito com particular referência à função, energia e forma, (incluindo o conceito estrutural que está relacionado com a forma). Coordenar as outras especialidades envolvidas no planeamento e incorporar as suas contribuições.

<sup>274</sup> Kolb refere-se especificamente às estruturas porticadas que depois de escolhida uma determinada grelha estrutural exigem a escolha do subtipo caracterizado pelas características, número e posição das vigas e pilares.

3 - Estimar os custos; otimizar o conceito; propor e estabilizar a geometria do edifício; especificar e calcular os custos<sup>275</sup>; e clarificar os parâmetros para a aprovação.

4 - Produzir documentação exigida para aprovação, de acordo com as instruções adequadas ao projecto.

6 - Apresentar o projecto com a informação necessária à sua construção. Transmitir instruções para o trabalho dos outros especialistas envolvidos e incorporar as suas contribuições.

7 - Determinar as quantidades; produzir especificações; acordar as especificações com outros especialistas envolvidos; reunir os documentos contratuais e as especificações; obter orçamentos; verificar e avaliar os orçamentos; negociar com os fornecedores e apoiar o cliente na sua escolha; realizar uma estimativa de custos.

A garantia de qualidade de uma solução, para Natterer (2008, p. 78), deve ter por base um sistema de projecto que considere inicialmente o maior número de variantes estruturais. No âmbito do estudo prévio, o desenvolvimento da solução estrutural por parte do Engenheiro, com base nos requisitos (e no carácter) definidos pelo Arquitecto, inclui a produção de "conceitos alternativos" que ajudem a concretizar o conceito formal e que respondam aos requisitos técnicos e económicos. Serão depois seleccionadas as hipóteses de soluções estruturais que obedeçam aos critérios estáticos e funcionais pré-definidos. Para acompanhar este processo, o Arquitecto deve ter conhecimento do comportamento dos sistemas estruturais de modo a conseguir seleccionar as hipóteses relevantes e a conseguir traduzir efectivamente o sistema estático do Engenheiro numa forma construtiva.

#### 4.1.2.4 ESCOLHA DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Do ponto de vista do consumidor, a construção de uma casa de madeira pode ter origem num de dois cenários: ou o cliente escolhe construir uma casa de madeira porque é atraído subjectivamente pela sua estética e por vários aspectos do seu conforto, ou o cliente escolhe construir uma casa de madeira se após uma avaliação esta demonstrar ser mais atractiva que outras em relação a um conjunto de critérios considerados. Os factores que influenciam a avaliação e a escolha ou rejeição de uma casa de madeira, podem ser, como se viu antes, positivos (conforto, o ambiente, a estética) ou negativos (combustibilidade, manutenção, preço) (Gold & Rubik, 2008). O conforto e a segurança contra incêndio são objectivos fixados pela regulamentação, pelo que a sua satisfação deve em qualquer caso e em qualquer solução ser cumprida. Mas os objectivos nos domínios da estética, da manutenção, do preço, e do comportamento ambiental dependem muito das preferências subjectivas e das possibilidades económicas do cliente. Tanto o cliente que pretende construir incondicionalmente uma casa de madeira como o que pretende construir uma casa de madeira só se esta demonstrar ser mais atractiva, se irão deparar com o dilema de escolher entre os diversos sistemas construtivos possíveis. Uma casa com paredes de troncos tem um conjunto de características estéticas e de durabilidade muito diferentes de uma casa de painéis leves reticulados, por exemplo.

As características de uma casa de madeira estão condicionadas pelo tipo estrutural adoptado na sua construção. Na maior parte dos sistemas construtivos, o tipo estrutural é ele próprio parte do tipo da envolvente, condicionando as suas características. A necessidade e viabilidade de colocação de isolamento, e de correcção de pontes térmicas e os produtos

---

<sup>275</sup> Segundo as normas (DIN 276)

utilizados nas paredes exteriores e na cobertura (os isolamentos por exemplo) estão dependentes do tipo estrutural escolhido. Por outro lado, o sistema construtivo condiciona também a concepção arquitectónica. Bignon e Critt-Crai (2003) consideram que um sistema construtivo influencia a concepção do projecto nos seguintes factores: a definição da geometria e dimensões, a organização do espaço, dos volumes e dos vãos, a distribuição das infraestruturas, os detalhes e a organização da construção.

A escolha do tipo estrutural é uma das decisões chave ao longo do processo de projecto. Ao nível do programa base, devem ser seleccionados os sistemas estruturais mais adequados ao contexto do projecto (meio, exigências regulamentares e dos utentes) e rejeitadas à partida as soluções não viáveis. Será o caso, por exemplo, daquelas soluções que ultrapassam o limite de custos que o cliente está disposto a pagar, ou que não se adaptam à tipologia arquitectónica. Ao nível do estudo prévio será possível efectuar uma avaliação com base em soluções alternativas, permitindo quantificar alguns dos critérios. Está-se perante um processo de decisão baseado em critérios múltiplos (Bana e Costa & Antunes Ferreira, 2000) que pode ser simplificado, mas que exige uma ponderação de cada critério. Os critérios a considerar poderão ser económicos, de adequação aos tipos arquitectónicos e ao processo e também critérios ambientais. Além desses, deve ter-se naturalmente em conta o conjunto de exigências regulamentares que devem ser encaradas como patamares obrigatórios a atingir (podendo depender em alguns casos do nível de qualidade definido).

A definição e avaliação de alternativas estruturais é uma fase também contemplada nos processos de projecto em que se assume um tipo estrutural específico como ponto de partida. Vilijakainen (2003) no âmbito do sistema *platform frame*, considera que o Arquitecto e o Engenheiro devem numa fase de estudo prévio (*sketch phase*) avaliar alternativas estruturais e decidir sobre a posição e o tipo da grelha estrutural, a estrutura da cobertura, a definição da estrutura da envolvente, a estrutura dos pavimentos intermédios e as eventuais varandas. Ou seja, depois de escolhido um tipo estrutural podem ser equacionadas também várias soluções particulares.

Em “Technologies de construction en bois”, (Bignon & Critt-Crai, 2003) propõe-se um método de análise dos problemas de projecto visando apoiar o projectista, com base em quatro pontos: 1) a comparação de sistemas construtivos, identificando-se as principais características das grandes famílias de sistemas estruturais<sup>276</sup>; 2) a comparação das lógicas de produção (artesanal ou industrial), comparando-se os processo de fabrico e de construção; 3) a definição dos factores de escolha de um sistema construtivo através da elaboração de uma lista (*check-list*) das características abrangidas (capacidade do fabricante-construtor, qualificação da mão de obra, custo, espacialidade, funcionalidade, segurança, contexto, prazos e ambiente), tendo em conta que a ordem dos factores, a sua importância e as respostas encontradas resultam das particularidades de cada projecto; e 4) a identificação das consequências dos sistemas construtivos nas definições de projecto<sup>277</sup>. Com base neste tipo de abordagem, expõe-se na Tabela 41 um exemplo meramente ilustrativo dos factores a considerar numa avaliação de três sistemas construtivos.

<sup>276</sup> Na lógica artesanal identificam-se os seguintes factores: fabricação e montagem a pedido; conhecimento especializado; adaptação aos requisitos da procura; custos elevados; necessidade de acompanhamento das especializadas. Na lógica industrial identificam-se os seguintes factores: fabricação industrial de componentes; gestão da qualidade dos produtos; montagem no estaleiro por instaladores; boa adaptação à procura arquitectónica; custos competitivos.

<sup>277</sup> Determinação de uma trama dimensional; composição do espaço; composição de volumes e fachadas; materialização das estruturas, paredes e envolvente; distribuição das redes de fluidos; detalhes para controlo da relação entre especialidades na obra; organização do processo de construção.

Tabela 41 - Exemplo de factores a considerar numa avaliação de sistemas construtivos.

SISTEMAS Estruturais/ Construtivos	EXIGÊNCIAS	ECONOMIA	AMBIENTE	ARQUITECTURA		PROCESSO	AVALIAÇÃO
	REGULAMENTARES Nível de qualidade	Custo, Energia, Manutenção	CO <sub>2</sub> , Resíduos, Materiais, Reciclagem	Adequação ao tipo Funcional	Adequação ao tipo Simbólico	Fabricante, Construtor, Prazos de construção	
Ex. Tipo 1	+	-	+	+++		+	+
Ex. Tipo 3	+	+++	+++	+		+	++
Ex. Tipo 4	+	++	+++	+++		+	+++

Os novos sistemas de componentes, segundo Joseph Kolb (2008), têm vindo a aumentar as opções disponíveis no âmbito da construção em madeira. A escolha da estrutura (juntamente com o desenho da envolvente edificada e dos componentes) é determinada pela informação e parâmetros próprios de cada sistema (materiais e tecnologia, produção, transporte, construção, ecologia e física da construção). É na fase de estudo prévio (*draft design*), que estas análises e escolhas se efectuam, verificando-se também se as exigências de segurança ao fogo, térmica, acústica e manutenção são compatíveis com o sistema. O autor considera também que a colaboração entre o Arquitecto e o Engenheiro deve promover um planeamento e construção simplificados, com o objectivo de reduzir os custos de construção. A já referida intervenção do Engenheiro de estruturas nas fases iniciais do desenho deve tornar clara a relação entre a concepção estrutural e o *design* (Kolb, 2008, p. 23).

O processo de concepção estrutural conduzido pelo Engenheiro, segundo Natterer (2008, p. 85), comporta diversas fases: 1 - Análise das condições de contexto (dimensões em planta, aberturas, espaço livre, inclinação da cobertura, cargas consideradas); 2 - Análise das soluções variantes utilizando isometrias incluindo definições de pilares, sistema de estrutura primária; sistema de estrutura secundária; sistema de contraventamento; envolvente construída (paredes, cobertura); 3 - Definição de dimensões preliminares e realização de conceitos espaciais em cada uma das opções consideradas (variantes); 4 - Decisão - baseada em comparações (design, custos de material, eficiência económica); 4a - Projecto de detalhe - Cálculos estruturais, desenhos de estrutura, conceito detalhado, orçamentos; 4b - Desenhos de construção da estrutura, desenhos de fabrico, listas; 5 - Fiscalização da construção; 6 - Autos de medição - com base em listas de quantidades.

No âmbito do processo de concepção do Engenheiro, Natterer (2008, pp. 84-85) propõe um processo de decisão para apoio à escolha da solução estrutural de madeira através de uma matriz de avaliação dos tipos de construção (cf. Tabela 42). Nesta proposta avaliam-se critérios diversos (compartimentação, a altura e espacialidade, a clareza e transparência, a adaptabilidade da planta, os balanços, a protecção da madeira, o consumo de materiais, as ligações, a economia, a praticabilidade, a complexidade dos interiores, o espaço livre e os vãos, a aparência, etc.). A avaliação é realizada atribuindo classificações a cada critério com valores de zero a três (três corresponde a muito bom, dois a bom, um a médio e zero a fraco) prevendo-se um factor de atribuição de peso a cada um dos critérios, de um a três.

A avaliação genérica dos sistemas construtivos poderá ser muito pouco fiável porque quando é efectuada a apreciação de um qualquer tipo estrutural subentendem-se várias características do sistema ou do contexto que são diferentes noutros contextos ou que podem ser alteradas (melhoradas) mantendo-se a integridade do sistema. Em “Construction de maisons à ossature bois” (Benoit & Paradis, 2008), elabora-se uma avaliação desse tipo, sintetizando-se as características genéricas de diferentes sistemas estruturais de madeira aplicados à habitação (cf. Tabela 43).

Tabela 42 - Exemplo de matriz de avaliação de um tipo estrutural (Natterer, Part 4 Timber engineering, 2008).

Critérios de Avaliação	Pontuação				Peso	Somatório
	3	2	1	0	W	Σ
Divisão em espaços separados		x			2	4
Altura e espacialidade		x			1	2
Clareza e transparência	x				3	9
Adaptabilidade da organização espacial		x			2	4
Projeção da cobertura - Protecção da madeira		x			1	2
Consumo de materiais	x				3	9
Ligadores exigidos	x				3	9
Viabilidade		x			2	4
Economia	x				3	9
Complexidade dos acabamentos interiores	x				3	9
Espaço livre e vãos	x				2	6
Aparência	x				3	9
Construção		x			2	4
<b>Total da proposta pelo Engenheiro</b>						<b>80</b>

3= muito bom; 2=bom; 1=médio; 0=fraco;

Tabela 43 - Tabela síntese de princípios construtivos. (Benoit &amp; Paradis, 2008).

Princípio	Potencialidades	Limitações
Paredes pesadas de toros	Conforto higratérmico e térmico Montagem em Kit	Reduzida superfície habitável Variações dimensionais importantes das paredes (assentamento)
Painéis lamelados cruzados colados	Conforto higratérmico e térmicos Mercado para as madeiras resinosas de segunda categoria Rapidez da obra	Custos elevados para habitações que se pretendam económicas
Reticulados pesados tradicionais de elementos contínuos	Valorização patrimonial	Impossibilidade de construir varandas Dificuldade de transportar e montar os componentes de grande dimensão
Reticulados pesados tradicionais de piso a piso	Construção de varandas possível Transporte e montagem mais rápida que no sistema de elementos contínuos	Princípio de construção de elevados custos
Reticulados leves tipo platform frame	Construção rápida e económica A maior parte do trabalho pode ser efectuada na fábrica Método adaptado a pequenas obras com a técnica de componentes pré-cortados	Grandes aberturas a evitar Construção de dois ou três pisos
Porticados	Grande leveza arquitectónica Estrutura adaptada a grandes aberturas no pavimento	Princípio de construção caro para habitação

Recorrendo à informação de vários manuais (Bignon & Critt-Crai, 2003) (Deplazes, 2005a) (Benoit & Paradis, 2008) (Kolb, 2008) (Piqué, 1984) (USDA Forest Service, 2010), reuniram-se na Tabela 44 a maior parte dos critérios encontrados para avaliar os sistemas estruturais, integrando-se também as avaliações efectuadas. Arriscou-se uma classificação simples de cada sistema com os seguintes parâmetros: não adequado (-); adequado (0); muito adequado (+). Este quadro é no entanto meramente indicativo uma vez que como foi referido, a efectiva avaliação de um sistema construtivo só pode ser efectuada convenientemente através da sua relação com o sistema formal (função, espaço, estética) e com os factores de contexto do projecto. Como é possível verificar, algumas características não podem ser avaliadas porque não estão necessariamente definidas no tipo estrutural. Por esses motivos, a tentativa de obter uma avaliação quantitativa a partir deste quadro seria pouco rigorosa e contraproducente.

A Tabela 44 coloca em evidência as fragilidades destas avaliações muito genéricas. Os sistemas porticados por exemplo não podem ser classificados em vários dos parâmetros (inércia, manutenção, redução de resíduos em obra) porque a sua apreciação depende da envolvente adoptada. Outras classificações subentendem uma solução específica, como acontece na avaliação negativa dos sistemas de paredes pesadas que considera que a solução não é revestida pelo exterior com um acabamento mais durável que a madeira.



Tabela 44 - Avaliação de sistemas construtivos.

Tipo genérico estrutural	Inércia térmica	Economia de custos iniciais	Exigências de manutenção	Armazenamento de CO2	Redução de resíduos em obra	Potencial de reciclagem	Coincidência da estrutura e fechamento	Flexibilidade da compartimentação	Integração de infraestruturas	Condicionantes da higroscopicidade	Exigência na seleção da madeira	Adaptação a formas singulares	Adaptação a diferentes estéticas	Adaptação a diferentes contextos	Adaptação a corpos em balanço	Expressão estrutural da madeira	Necessidade de revestimento exterior	Necessidade de revestimento interior	Potencial de abertura espacial	Tempo de construção	Grau de pré-fabricação	Investimento no projecto de Arquitectura	Investimento no projecto de estruturas	Exigente em mão de obra	Exigente em equipamento de construção	Sistema de fabricante específico	Controlo da qualidade em obra
Reticulados leves	-	+	-	-	0	+	+	0	+	-	-	+	0	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-
Porticados	-	0	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	+	+	+	0	-	0
Paredes leves	0	-	0	+	0	+	-	+	-	+	0	+	+	+	+	+	0	-	0	0	0	0	0	+	-	+	0
Painéis leves	-	+	-	+	0	+	0	+	-	-	0	0	+	-	-	+	+	-	+	+	0	0	0	-	+	-	+
Paredes pesadas	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	0	-	0	0	-	0	+	+	-	0
Painéis pesados	+	-	+	+	0	+	-	-	-	-	0	0	+	+	0	-	+	0	+	+	+	-	+	-	+	+	+
Módulos parciais	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	-	+	+	
Módulos completos	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	-	+	+	
Sistemas mistos leves	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Sistemas mistos pesados	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Bignon e Critt-Crai (2003) propõem uma estrutura metodológica para abordar o projecto de construções em madeira, seguindo uma ordem lógica de decisões sobre os elementos de construção, após a escolha do tipo estrutural: fundações, paredes, pavimentos, cobertura, revestimentos de paredes exteriores e de cobertura. A definição das fundações deve considerar os custos, a natureza dos solos, a zona climática (gelo), a topografia, as cargas, a compatibilidade com a superestrutura, o controlo térmico, a estanquidade, a integração arquitectónica, e o impacto ambiental. A solução da estrutura vertical será enquadrada pelos custos, a resistência mecânica, a estabilidade e rigidez (condicionantes horizontais), a resistência ao fogo, as ligações, a dilatação e retracção, a definição dos vãos de portas e janelas, os revestimentos e acabamentos (exteriores e interiores), o controlo térmico, acústico e de estanquidade, a qualidade ambiental; e o tratamento arquitectónico exterior do sistema portante vertical. A concepção dos pavimentos deve ter em consideração, para além dos factores comuns (custos, resistência, rigidez, resistência ao fogo, controlo térmicos, acústico e de estanquidade, integração de infraestruturas, impacto ambiental) as ligações com o sistema portante vertical, as aberturas no pavimento, e os revestimentos superiores e inferiores. Finalmente, na definição da cobertura deverá considerar-se para além dos factores comuns, as ligações com as paredes e pavimentos, as intersecções com outros elementos (chaminés, muretes, etc.) e também os revestimentos.

#### 4.1.2.5 DURABILIDADE

A maior singularidade da madeira em relação aos restantes materiais e tecnologias, para além das já referidas (variabilidade, dos seus defeitos, das características de anisotropia, de higroscopicidade, combustibilidade) é a sua durabilidade (cf. Anexos). O risco de ataque por fungos e insectos xilófagos e a sua relação com a humidade obriga à definição de exigências próprias da construção em madeira e a cuidados de projecto especiais.

Para além do cumprimento de todas as normas e regulamentos relacionados com a durabilidade, espera-se do Arquitecto que coloque em prática as medidas de protecção mais adequadas. Essas medidas abrangem, a concepção formal geral do projecto, os detalhes construtivos, as especificações técnicas e as medidas de tratamento químico da madeira. Na abordagem actualmente aceite de forma consensual considera-se que apenas nas situações onde não é possível recorrer aos detalhes nem à escolha de uma espécie de madeira resistente, se devem utilizar as medidas de protecção química. O objectivo do projecto em relação à durabilidade deve então ser a obtenção da menor classe de risco por meio de medidas construtivas (Volz, 2008).

Segundo Kolb (2008) e Volz (2008) algumas das medidas genéricas de protecção passiva a aplicar em qualquer sistema construtivo consistem em: evitar locais e orientações expostas; prever projecções da cobertura; evitar o contacto directo da madeira com o solo e o salpico das fachadas e prever uma drenagem rápida das superfícies. Ao nível da execução, preconizam-se, entre outras, as seguintes medidas: o uso de materiais alternativos onde a madeira não é adequada; o controlo da humidade durante a montagem; a prevenção de infiltrações nas juntas e topos; a prevenção da acumulação de água nos pontos de transição; a ventilação dos componentes expostos à humidade; a inspecção sistemática em especial aos componentes inaccessíveis depois da conclusão da obra (Kolb, 2008). No entanto, as medidas de protecção através de disposições de projecto (“pelo desenho”) em concreto dependerão de cada sistema construtivo e dos seus pormenores (Almeida, Pormenorização e protecção por projecto, 2010a).

### 4.1.3 CATÁLOGOS E TIPOLOGIAS

#### 4.1.3.1 REVISÃO SOBRE O PROCESSO DE CATÁLOGO

A adopção de uma metodologia de projecto pressupõe a existência de uma base de informação que possa dar origem ao processo de projecto. Para além do conhecimento prévio que é detido pelos profissionais qualificados com as competências e a experiência específica das matérias pelas quais são responsáveis, essa base de conhecimento é constituída pelo conjunto das informação relativa ao cliente e/ou utente, ao contexto, aos regulamentos, aos materiais, aos produtos e aos sistemas de construção (cf. Tabela 45).

Tabela 45 - Conhecimento de base.

Origem da informação	CLIENTE	CONTEXTO	REGULAMENTOS E OBJECTIVOS	MATERIAIS E SISTEMAS	CONHECIMENTO ESPECIALIZADO
<b>Tipo de informação</b>	<i>Economia</i> <i>Ambiente</i> <i>Estética</i> <i>Arquitectura</i> <i>Processo</i>	<i>Factores sociológicos</i> <i>Factores económicos</i> <i>Factores físicos</i> <i>Factores técnicos</i> <i>Factores Administrativo</i>	<i>Uso</i> <i>Conforto</i> <i>Segurança</i> <i>Ambiente</i> <i>Durabilidade</i> <i>Estética</i>	SISTEMAS COMPONENTES ELEMENTOS MATERIAIS <i>Propriedades</i> <i>Fabricação</i> <i>Transporte</i> <i>Construção</i> <i>Manutenção</i> <i>Desconstrução</i>	ENGENHARIA <i>Física das construções</i> <i>Cálculo estrutural</i> <i>Materiais</i> <i>Ambiente</i> ARQUITECTURA <i>Design</i> <i>Sociologia</i> <i>Estética</i> <i>História</i>
<b>Intervenientes</b>	CLIENTE ARQUITECTO	ARQUITECTO OUTROS ESPECIALISTAS	ARQUITECTO ENGENHEIRO	ENGENHEIRO ARQUITECTO FABRICANTE CONSTRUTOR	ARQUITECTO ENGENHEIRO CONSULTORES

Como foi visto, o processo tradicional da encomenda de Arquitectura requer a definição de uma lista de exigências definidas pelo cliente que são traduzidas num programa base. Este programa deverá em teoria ser livre de “pré-conceitos”, sendo “quase um documento científico” (Davies, 2005, p. 113). Em conjunto com a análise do contexto físico, é a partir desse programa que se vai criar uma solução na forma de um estudo prévio que por sua vez

dará origem a sucessivos documentos até se concluir o projecto. Todo este processo é assumido normalmente, tanto por Arquitectos como clientes, como um serviço e não como um produto.

No âmbito da oferta de sistemas pré-fabricados, a lógica do processo é a oposta, ou seja a Arquitectura passa a ser entendida como um produto que o cliente pode conhecer de antemão e não como um serviço que gera um produto que é desconhecido à partida. Este tipo de processo tem antecedentes históricos na concretização de edifícios que foram produzidos em série e concebidos independentemente do sítio onde depois seriam construídos. Vários projectos a partir do século XIX seguiram esta lógica, como aconteceu não só com abrigos temporários e baratos, mas também com muitas *cottages* Georgianas e casas Vitorianas (Davies, *The prefabricated home*, 2005). Nestes casos recorria-se a soluções padronizadas que requeriam apenas algumas adaptações relacionadas com os terrenos onde estas eram implantadas.

Os livros de padrões, desprezados hoje pelo meio erudito da Arquitectura (os Arquitectos são normalmente contra “receitas” que indiciam falta de criatividade), foram em determinada altura um instrumento muito utilizado pelos Arquitectos. Em Inglaterra, entre 1790 e 1835 foram publicados mais de 60 livros de padrões (Kalman, 1994). Esses livros concentravam-se nos conceitos de *villa* e de *cottage* integrando normalmente uma perspectiva pitoresca e rústica das soluções.

A influência dos livros de padrões na Arquitectura residencial, segundo Davis, tem uma história de 300 anos. Os “Seis livros” de Serlio (séc. XVI) e os “Quatro Livros” de Palladio, inspiraram muitas outras publicações como o “*First and Chief Grounds of Architecture*” de 1563, o “*Vitruvius Britannicus*” de Colen Campbell de 1715-25, “*A book of Architecture*” de James Gibbs de 1728, e os “*Sketches in Architecture*” de John Soane de 1793 (com desenhos especulativos de situações rurais idealizados). Na América do Norte, os livros de padrões como “*Cottages and residences*” de 1842 e “*The Architecture of country houses*” de 1850 de A. J. Downing adaptavam-se ao versátil sistema de construção em madeira *balloon frame* e terão sido responsáveis, segundo Kalman, por uma revolução que terá mudado a face da América rural. Kalman refere ainda “*The Model Architect*” (1852) de Samuel Sloan e “*Villas and cottages*” (1857) de Calvert Vaux que influenciaram não apenas a construção nos Estados Unidos, mas também no Canadá (Kalman, 1994, p. 604) onde o periódico “*American Farmer*” publicava com regularidade a partir de 1864 edifícios modelo nas secções “*Rural Architecture*” e “*Farm Architecture*”.

Davies (2005) refere ainda os irmãos Palliser, emigrantes ingleses na América, que produziram uma colecção de livros de padrões, os “*Model homes for the people*”, para oferecer um serviço de projectos por correio. Os clientes poderiam escolher uma solução do catálogo, referindo as adaptações pretendidas e a empresa enviaria depois um conjunto de desenhos, com especificações e um caderno de encargos. O livro de padrões evoluiu depois para o sistema da “*mail-order-house*”, em que a casa poderia ser encomendada por correio e era enviada com todos os componentes e instruções de montagem para o local da obra. Nos Estados Unidos da América, os livros de padrões enraizaram-se de tal modo que se publicam ainda actualmente muitas revistas e livros com padrões para as preferências mais diversas. Os livros de padrões actuais apresentam normalmente pelo menos uma planta e uma vista ou alçado. Por um preço que pode rondar os 700\$ pode-se encomendar um projecto de uma casa tipo Cape-Cod com os desenhos de construção, a lista de materiais e as especificações da Arquitectura e das especialidades. Normalmente os projectos dos livros de padrões são

provisórios uma vez que quase sempre são necessárias algumas adaptações. Apesar destas adaptações, uma vez que o sistema construtivo é o dos reticulados leves tipo *platform frame*, os aspectos construtivos não são alterados (Davies, *The prefabricated home*, 2005, p. 123).

Os livros de padrões têm como objectivo assegurar que os clientes conseguem obter o produto que de facto desejam. Muitos empreendimentos residenciais recorrem actualmente a livros de padrões que permitem aos clientes escolher de entre um leque de “estilos”, aos quais são adicionadas variantes e opções de pormenorização diferenciadas. Davis refere-se aos empreendimentos Seaside na Florida ou Celebration em Orlando cuja promoção passa por oferecer seis estilos básicos (Classical, Victorian, Colonial Revival, Coastal, Mediterranean e French) contemplando cada um deles um conjunto de opções particulares. O catálogo é considerado pelos autores destes empreendimentos como tendo por base o conceito de um “*kit de partes*” que permite desenvolver projectos singulares dentro de uma gama limitada de características (Davies, *The prefabricated home*, 2005).

Os livros de padrões assumem diversas formas quanto ao objectivo: podem servir meramente como inspiração ou podem consistir em projectos passíveis de encomendar. Podem ter por base projectos já executados ou projectos meramente especulativos. Podem estar relacionados com uma tecnologia específica como por exemplo um determinado sistema construtivo em madeira ou podem ser independentes dela. Podem ser publicados em revistas populares ou especializadas, dirigidos às massas ou a grupos mais selectos, podem estar contidos em livros ou brochuras empresariais, ou (cada vez mais) podem ser publicados na Internet.

Davies (2005) defende a lógica do catálogo, argumentando que a Arquitectura pode ser concebida antes de surgir um cliente com um programa próprio. A Arquitectura vernácula, por exemplo, segue um pouco essa lógica: partindo de um número limitado de tipos normalizados, com componentes e esquemas decorativos também normalizados, conduz necessariamente a resultados previsíveis. Davies considera que os livros de padrões poderiam ser utilizados para promover a boa Arquitectura e as práticas sustentáveis, podendo tornar-se num instrumento “aliado” da Arquitectura (Davies, 2005, p. 129).

Os fenómenos dos catálogos e das casas pré-fabricadas foi praticamente inexistente em Portugal. Provavelmente o caso mais aproximado terá sido protagonizado pelo livro “Casas portuguesas” de Raul Lino (Lino, 1933) que foi um dos livros mais difundidos sobre arquitectura em Portugal. Nele apresentavam-se 36 projectos de “casas portuguesas” sobre as quais o autor dizia:

*“Todas as casas reproduzidas foram estudadas para satisfazer os desejos dos respectivos proprietários, e em todas houve sujeição às mais varadas condições locais e orçamentais”. (Lino, 1933)*

Este livro terá sido utilizado por Arquitectos e não Arquitectos como um catálogo de referência de modelos enquadrados por um gosto tradicionalista que teve uma ampla aceitação durante o Estado Novo.

Sendo até à relativamente pouco tempo considerada uma prática “anti-arquitectónica” entre os Arquitectos, a ideia de oferecer a Arquitectura como um produto acabado acabou por ser aceite recentemente por muitos dos Arquitectos portugueses. Alguns empreendedores nacionais começaram a utilizar a estratégia de venda da Arquitectura erudita, assumindo-a como um produto baseado no prestígio dos Arquitectos. Assim, em loteamentos como o Bom Sucesso (Bom Sucesso - SGPS, S.A., 2014), a Vila Utopia (Wise - Investimentos Imobiliários, SA, 2014), o Pestana Tróia (Grupo Pestana, 2014), o L'And Vineyards (Sousa Cunhal,

Turismo S.A., 2014), etc. disponibilizaram-se modelos variados onde a marca distintiva de cada um passou a ser em primeiro lugar “a assinatura” do respectivo autor. O possível cliente pode através do sítio da Internet que promove o empreendimento, visualizar as soluções arquitectónicas (plantas e perspectivas) com base no Arquitecto das suas preferências. É possível fazer uma procura de soluções disponíveis segundo critérios como a tipologia funcional, o Arquitecto e o preço Assume-se implicitamente nestas estratégias de comercialização que o Arquitecto é uma marca associada a um produto (Bom Sucesso - SGPS, S.A., 2014).

Com a utilização global da internet, os catálogos de papel passaram a ser substituídos por sítios com claras vantagens em termos de quantidade de informação e de possibilidades de pesquisa. O público podem efectuar inúmeras pesquisas filtrando as suas opções em termos de características como o estilo, o programa funcional e o custo (www.eplans.com). O poder dos clientes aumentou de tal forma que os consumidores têm acesso não apenas aos produtos, mas também à sua invenção. Foram criadas ferramentas automáticas de desenho que lhes permitem desenvolver os seus próprios projectos. Softwares de CAD amigáveis como o 3D Home Architect permitem desenhar projectos básicos com base em entidades reconhecíveis, permitindo obter soluções personalizadas dentro de um sistema com regras próprias (Davies, The prefabricated home, 2005).

#### 4.1.3.2 REVISÃO SOBRE O CONCEITO DE TIPO EM ARQUITECTURA

Uma das vantagens fundamentais da utilização de uma solução padrão em Arquitectura é poder contar-se com um ponto de partida. Este tipo de abordagem pode ser utilizado com benefício no processo de projecto porque facilita a comunicação entre Arquitecto e cliente, possibilitando racionalizar as respostas formais e técnicas aos problemas colocados eliminando-se as tradicionais dificuldades de comunicação e interpretação.

Apesar dos conceitos de catálogo e padrões ter sido relacionado pelo menos durante o século XX como um recurso popular, contrário à prática erudita da Arquitectura<sup>278</sup>, o conceito de tipologia e de tipo, que tem alguma relação com os anteriores, foi acolhido por movimentos arquitectónicos importantes dentro do próprio Movimento Moderno, ou mais tarde por alguns movimentos Pós Modernos e também pelo movimento dos métodos de projecto representado na Arquitectura por Christopher Alexander.

A “tipologia”, entendida como o “estudo dos tipos”, é uma das teorias sobre a geração das formas arquitectónicas, que surge em paralelo com outras teorias como a do funcionalismo e a da linguagem de padrões (Brawne, 2003). O conceito de “tipo funcional” foi utilizado no Movimento Moderno por Arquitectos funcionalistas que entendiam que as gerações das formas arquitectónicas deveriam ter por base os requisitos funcionais. Uma diferente concepção da tipologia como instrumento de projecto foi desenvolvida por Arquitectos Pós Modernos, como Aldo Rossi e Rob Krier, que a entendiam como instrumento de análise e compreensão das cidades tradicionais europeias e como instrumento auxiliar de geração de formas arquitectónicas, numa linha de continuidade histórica. Outra via foi desenvolvida na “Linguagem de Padrões” por Christopher Alexander<sup>279</sup> que consistia num método de apoio ao projecto dirigido a não especialistas, baseada num conjunto de 253 padrões, tendo por base o pressuposto de que uma solução resulta da conjugação de vários padrões particulares.

<sup>278</sup> Apesar das várias incursões dos Arquitectos por este campo de entre os quais Frank Lloyd Wright será o exemplo mais importante.

<sup>279</sup> A linguagem de padrões de Christopher Alexander vai mais longe que o conceito de tipo, aspirando a definir padrões espaciais, para responder a padrões de acontecimentos. O projecto consistiria assim em definir um certo número de padrões interrelacionados e organizados segundo uma hierarquia.

O conceito de tipo está relacionado com a ideia de precedente na concepção arquitectónica. Para além da utilização consciente de teorias de geração de formas arquitectónicas, segundo Brawne (2003) deve-se aceitar que a maior parte dos Arquitectos projecta com base em modelos, levando a cabo a eleição crítica de algum precedente. Nesta visão o projecto consistiria numa sequência de várias fases: 1) escolha de um modelo existente 2) tentativa de solução; 3) exclusão do erro; 4) definição da solução (que será a base do próximo problema). Todas estas operações, que podem ser consideradas como desenvolvimentos a partir de um tipo, seriam filtradas por um conjunto de condicionantes contextuais arquitectónicas, sociais e económicas (Brawne, 2003, p. 33).

Segundo Nuno Portas (Portas, 2005) os tipos são elaborados através da observação das invariâncias funcionais e linguísticas (organizações esquemáticas) para certos conjuntos generalizáveis de exigências. O tipo será uma resposta às acções dos utilizadores e, segundo a terminologia da teoria da comunicação, é o “signo da linguagem arquitectónica”. Um dos problemas apontados ao tipo como instrumento de projecto residiria na sua transformação em estereótipos, utilizados indevidamente porque são utilizados em contextos que entretanto evoluíram ou que são diferentes dos contextos que lhes deram origem. Outra das críticas à abordagem tipológica é precisamente o seu aspecto conservador, ou seja a sua utilização não conduziria à inovação, promovendo ao invés a continuidade com o passado.

O conceito de inovação em Arquitectura não será completamente contrário à ideia de tipo uma vez que qualquer produto novo assume um ponto de partida (um antecedente). Lawson (2005) considera que embora as ideias possam ser inteiramente novas (situação rara), o que acontece frequentemente é que na perspectiva do design, as fases do processo criativo resultam de reflexões sobre outras ideias que já surgiram no processo, através de episódios de desenvolvimento e de interpretação. O projectista não está assim livre das formas do passado, utilizando referências para o desenvolvimento das suas respostas aos problemas com que se depara.

As críticas à tipologia como instrumento de projecto podem também referir-se à crítica mais genérica sobre a abordagem metodológica que consiste em dividir o processo e as soluções em partes, negligenciando assim a visão global dos problemas. Lawson (2005) afirma, por exemplo, que as soluções de design são respostas holísticas e defende que o “bom design” raramente pode ser decomposto em actividades como se fossem aspectos individuais do problema. Este é um tipo de crítica que poderia ser dirigido a métodos desenvolvidos com o intuito de fornecerem respostas e soluções definitivas. Um instrumento de geração de formas automáticas de casas de madeira, a partir da inserção de um conjunto de dados, teria sem dúvida as suas limitações do ponto de vista da abordagem holística referida por Lawson.

No que se refere ao caso específico de uma casa de madeira, a resposta holística e o “bom design” a que Lawson se refere estarão sempre condicionados pelo conhecimento das possibilidades dos sistemas construtivos e das suas regras. Tal como defendem Ricketts e Merrit (2000) o estudo e conhecimento de uma determinada realidade é facilitado pela sua decomposição. Um edifício pode ser compreendido como um sistema de partes, entendendo-se por sistema um conjunto de elementos conjugados e montados para satisfazer objectivos pré-definidos, perante um contexto de constrangimentos e restrições. Deste modo um edifício pode passar a ser considerado como um conjunto de subsistemas que podem ser projectados com o objectivo de contribuir para o cumprimento dos objectivos do sistema global (Ricketts & Merrit, 2000).

A utilização da tipologia e das metodologias como instrumentos de projecto, embora se deva reconhecer o seu carácter conservador e os seus limites, é justificável sempre que mais do que a inovação, o objectivo do Arquitecto seja o de projectar com qualidade, entendendo por qualidade a satisfação dos requisitos pré-definidos de forma equilibrada: habitabilidade, segurança, durabilidade, uso, estética e economia.

A utilização dos conceitos tipológicos definidos no capítulo 2 podem constituir uma base de conhecimento importante na concretização da referida Arquitectura qualificada. Com base nas tipologias arquitectónicas, o projecto de construção em madeira passa a considerar mais possibilidades, aumentando-se assim a probabilidade de sucesso. Por outro lado, deve-se aceitar que as metodologias devem ser flexíveis e que diferentes Arquitectos adoptam processos diferentes<sup>280</sup>. O ponto de partida do projecto pode ser qualquer uma das tipologias antes definidas. Será o tipo funcional/espacial para aqueles arquitectos que dão maior importância ao uso. Será o tipo simbólico para os que já têm ideias claramente definidas e para os que procuram uma "Arquitectura de autor". Será o tipo estrutural quando se pré-definir um fabricante de confiança e um sistema preferido. Será o tipo de envolvente nas situações em que se pretenda atingir uma meta em termos de desempenho (térmico, acústico, estanquidade). A existência de tipos arquitectónicos, o seu conhecimento e a sua consideração como base a partir da qual se pode projectar será sempre preferível ao seu desconhecimento.

As contribuições deste capítulo, que pretendeu rever os principais conceitos a utilizar, aproveitam directamente ao capítulo 6 (Método proposto), no qual se apresenta a proposta de método com base em algumas das conclusões aqui obtidas. Essa proposta só poderá no entanto ser concretizada depois de desenvolvido o estudo de caso que se desenvolve no capítulo 5 (Caso de estudo) que de um modo empírico permite levantar as principais questões de projecto em cada um dos sistemas construtivos considerados e testados.

---

<sup>280</sup> Por exemplo, alguns Arquitectos poderão começar o projecto pela definição dos detalhes antes da concepção geral. Apesar da diversidade de abordagens ao projecto na perspectiva dos antecedentes tipológicos, pode reconhecer-se que a prática predominante é aquela em que as soluções funcionais e simbólicas têm a precedência, seguindo-se depois a tarefa de escolha das soluções construtivas viáveis. Natterer et al (Natterer, Herzog, & Volz, *Atlante del legno*, 1999) por exemplo consideram que o desenvolvimento de uma construção é determinado em grande parte pelas condições do contexto (urbanísticas e paisagísticas) a partir das quais se desenvolve um conceito figurativo associado a um perfil espacial que constitui o ponto de partida da forma do sistema portante.



## **4.2 A EXPERIÊNCIA DAS EMPRESAS NACIONAIS**

### **4.2.1 ENTREVISTA ESTRUTURADA ÀS EMPRESAS**

Para além da informação recolhida nas fontes bibliográficas sobre a metodologia de projecto foi considerado importante acrescentar a contribuição das empresas nacionais com base na sua experiência relativamente ao processo de projecto. Foi assim efectuado um inquérito a um conjunto de empresas de projecto, construção, fabrico e comercialização de casas de madeira através de entrevistas estruturadas a gerentes, funcionários técnicos ou funcionários comerciais de cada uma das empresas.

O objectivo das entrevistas consistiu em recolher sobretudo informações sobre as práticas das empresas quanto à metodologia e procedimentos do projecto de casas de madeira. As questões colocadas focaram-se tanto na génese das soluções em geral, como na escolha dos sistemas construtivos em particular. Procurou obter-se uma melhor percepção das características do mercado, no respeitante aos modelos de oferta, à caracterização da procura e à relação com os Arquitectos. Adicionalmente foram também recolhidas informações complementares sobre as empresas, os sistemas construtivos e os próprios clientes de maneira a actualizar as informações que tinham sido obtidas anteriormente.

#### **4.2.1.1 METODOLOGIA DAS ENTREVISTAS**

Inicialmente foram seleccionadas 25 empresas cuja oferta do produto “casa de madeira” era explicitada nos anúncios visualizados nas suas páginas da Internet. Considerou-se também que no conjunto de empresas entrevistadas deveriam estar as mais conhecidas do mercado e as mais importantes. Esta selecção foi efectuada com base na informação que tinha sido recolhida no primeiro inquérito “Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal - Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização (Morgado & Pedro, 2011). Entendeu-se que para além das empresas mais importantes, outras empresas menos conhecidas ou com menos volume de trabalho deveriam ser também contempladas. A escolha de empresas de menor dimensão contribuiu para obter uma amostra que contém a diversidade de características da oferta quanto à dimensão, tipo de actividade principal e nível de integração da actividade dos Arquitectos.

As empresas cuja estrutura pareceu ser mais frágil (como por exemplo nos casos em que se percebeu que a empresa era apenas constituída por um representante sem estrutura própria) ou cuja actividade era muito recente não foram consideradas. Também não foram consideradas as carpintarias genéricas que embora tenham capacidade para fornecer estruturas para obras de construção, não anunciam ou não se especializam no mercado das casas de madeira.

Do grupo de 25 empresas pré-seleccionadas e contactadas, três delas não puderam ser entrevistadas por impossibilidade logística e sete não mostraram disponibilidade para responder, tendo havido casos em que se insistiu repetidamente através de email e contactos telefónicos (cf. Tabela 47). As 15 empresas entrevistadas (cf. Tabela 46 ) foram abordadas entre 10 de Abril e 8 de Maio de 2014 através de reuniões previamente marcadas. Na maior parte dos casos as entrevistas ocorreram nas sedes das próprias empresas, e apenas num dos casos a entrevista foi realizada indirectamente através de um formulário submetido online.

As empresas foram representadas por gerentes (dez casos), funcionários técnicos (uma Arquitecta e um Engenheiro) e funcionários comerciais (três casos). As sedes destas

empresas localizam-se numa faixa litoral (até 60km para o interior) que se estende de norte a sul ao longo de 380 Km desde Vila Nova de Cerveira até Setúbal. As casas de madeira representam mais de 80% do volume de trabalho de sete das empresas entrevistadas, enquanto nas restantes se assiste a um leque de valores entre 5% e 55%. Algumas das empresas alertaram para o facto de a conjuntura económica ter alterado significativamente o cenário do mercado, nomeadamente pela dificuldade de acesso ao crédito por parte dos privados. Por esse motivo, o volume de encomendas de casas de madeira no mercado interno, estava no momento das entrevistas muito reduzido.

Uma vez que o objectivo das entrevistas era o conhecimento de uma realidade e não a previsão de comportamentos ou a estimativa de potenciais tipos de acção, não foi efectuada uma análise estatística com um tratamento de dados, integrando uma pesquisa correlacional de variáveis. As variáveis da entrevista são simples, tratando-se por vezes de valores objectivos e por vezes de opiniões que permitem identificar problemas e clarificar algumas das percepções que já se tinham formado anteriormente.

Tabela 46 - Lista de empresas entrevistadas e local da entrevista.

<b>Empresas entrevistadas</b>	<b>Local da Entrevista</b>
CARMO ESTRUTURAS (Arq. Susana Valente - Técnica)	Oliveira de Frades
CASEMA (Nuno Rebocho - Gerente)	Porto de Mós
COLICAPELA (Eng. Tiago Nunes - Dep. Engenharia)	Corroios
FULDEX (Carlos Silva - Gerente)	Lisboa
IDEAWOOD (Arq. Amílcar Rodrigues - Técnico)	Alpiarça
JULAR (Dr. Hélder Santos - Gerente)	Inquérito Online
LACECAL (Arq. João Carmo Simões - Gerente)	Lisboa
LOGDOMUS (Elisabete Ferreira - Comercial)	Esmoriz
LOGHOMES (Arq. Pedro Teles - Gerente)	Parede
NOVO HABITAT (Sérgio Barbosa - Comercial)	Viana do Castelo
PINHO CASA - (Eng. Veasceslav - Gerente)	Palmela
PORTILAME (Eng. Luis Rocha - Gerente)	Viana do Castelo
RUSTICASA (Berta Villas - Comercial)	Vila Nova de Cerveira
TISEM (Eng. Luis Jorge - Gerente)	Lisboa
TOSCCA (Eng. Pedro Pinhão - Gerente)	Oliveira de Frades

Tabela 47 - Lista de outras empresas contactadas mas não entrevistadas.

<b>Empresas contactadas mas não entrevistadas</b>	<b>Local</b>
ALCOMATE**	Alcochete
HONKA*	Rio de Mouro
IMOWOOD*	Sertã
JGDS - EPA*	Paços de Ferreira
LUIS CAPELA**	Aveiro
MODULAR SYSTEM*	Porto
MOOD 4 WOOD*	Sintra
R6 LIVING**	Maia
SPRING CONSTRUÇÕES*	Colares
TROPICALOCA*	Algueirão

\* Empresas não disponíveis para responder.

\*\* Empresas que não foi possível entrevistar por impossibilidade logística.

Desenvolveu-se um questionário (ver Anexo VII.A - Inquérito às empresas) que permitiu conduzir as entrevistas de forma estruturada, com a vantagem de poder esclarecer os entrevistados sobre dúvidas acerca das perguntas e obter por vezes informações adicionais sobre temas particulares. O tratamento e síntese dos dados foi efectuada recorrendo ao software “Google forms” disponibilizado pela empresa Google (cf. resultados no Anexo VII.A.10 - Resultados e gráficos da entrevista). Utilizou-se um método descritivo de análise dos dados nomeadamente através da exposição e explicação dos gráficos e dos valores

obtidos. Em termos estatísticos, dado o reduzido número da população e devido à natureza em grande parte qualitativa da pesquisa, não se pode concluir que a amostra permita generalizações no sentido rigoroso do termo. No entanto, como se conhecem alguns aspectos das empresas não entrevistadas por via das informações que são públicas e através de contactos anteriores, podem retirar-se conclusões e efectuar uma síntese dos resultados que se julga poder descrever uma parte significativa da realidade do mercado das casas de madeira em Portugal.

#### 4.2.1.2 EMPRESA

As empresas entrevistadas podem ser caracterizadas e classificadas com base em três critérios fundamentais: o nível de integração do Arquitecto, o número de sistemas construtivos oferecidos e as actividades suas principais. Sete empresas trabalham regularmente com Arquitectos, quatro apenas ocasionalmente e as restantes quatro abrangem um sector de mercado em que intervenção do Arquitecto é meramente residual (cf. Tabela 48).

Tabela 48 - Tipos de empresas.

Empresas	Actividade	Integração do Arquitecto	Número de sistemas estruturais
A	Projecto, Construção	Rara	2
B	Projecto, Construção	Rara	1
C e D	Projecto, Construção, Fabrico	Rara	2
E	Projecto, Construção	Ocasional	1
F	Projecto, Construção, Fabrico	Ocasional	1
G e H	Projecto, Construção, Fabrico	Ocasional	≥3
I	Projecto, Construção	Completa	2
J	Projecto, Construção	Completa	≥3
K, L, M, N	Projecto, Construção, Fabrico	Completa	≥3
O	Projecto, Construção, Fabrico	Completa	1

Quanto ao número de sistemas estruturais disponíveis para as soluções a disponibilizar aos clientes, sete empresas oferecem três ou mais sistemas, quatro empresas oferecem dois sistemas e as restantes quatro empresas oferecem um único sistema. Todas as companhias incluem a actividade de projecto e de construção ainda que em certos casos, sejam serviços contratados a parceiros exteriores. Quatro empresas não incluem a actividade de fabrico, sendo representantes de marcas internacionais de produtos de construção em madeira.

#### 4.2.1.3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

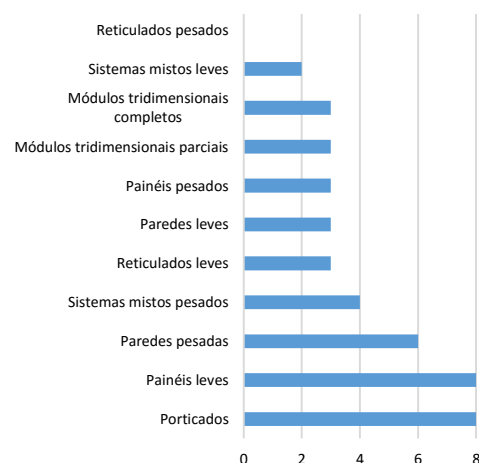


Fig. 325 - Sistemas utilizados pelas empresas

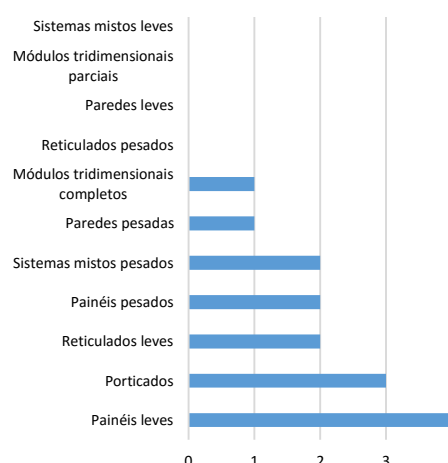


Fig. 326 - Tipo estrutural preferencial de cada empresa.

Os sistemas construtivos dominantes nas empresas são os painéis leves de reticulados e os porticados, presentes em oito empresas seguidos das paredes pesadas de toros em seis empresas (cf. Figura 325). Quatro empresas apresentam sistemas mistos pesados (porticados com reticulados leves ou toros ou pranchas). Os painéis pesados de lamelados

colados cruzados (CLT), os reticulados leves, as paredes leves tipo pranchas e montantes, os módulos tridimensionais completos surgem (cada um deles) em três empresas.

O sistema preferido da maioria das companhias é o de painéis leves reticulados com quatro respostas, seguido dos porticados com três respostas e dos painéis pesados, reticulados leves e sistemas mistos pesados, todos estes com duas respostas (cf. Figura 326). As questões sobre as espécies de madeira utilizadas nas estruturas não constavam da entrevista, mas os entrevistados foram voluntariamente dando informações sobre o tipo de madeiras e a sua proveniência. Assim, foram indicados os países nórdicos, a Roménia, os países de Leste e a Áustria, com o Pinho silvestre a ser a espécie mais referida. Uma empresa referiu o Canadá com destaque para a madeira de Cedro e outra o Brasil, com várias espécies tropicais. Finalmente duas empresas afirmaram que utilizam o Pinheiro bravo nacional em estruturas, tendo uma das empresas mostrado fotos de uma habitação unifamiliar integralmente construída com esta madeira.

#### 4.2.1.4 CLIENTES

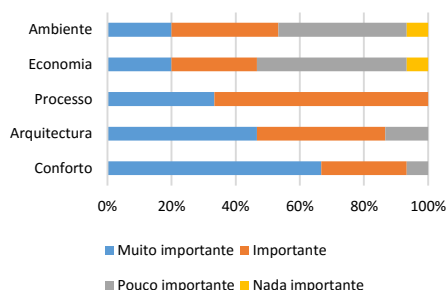


Fig. 327 - Argumentos de venda de casas de madeira.

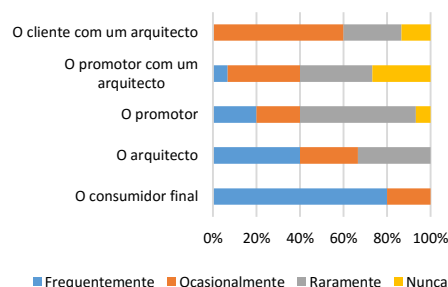


Fig. 328 - Tipo de cliente que aborda a empresa.

Do ponto de vista das empresas, os argumentos que conduzem os clientes a escolher uma casa de madeira são o conforto com dez respostas “muito importante” e quatro “importante”, seguido da estética arquitectónica associada à madeira (sete “muito importante” e seis “importante”) e da rapidez do processo de construção (cinco “muito importante” e dez “importante”) (cf. Figura 327). Os factores ambientais (três “muito importante” e cinco “importante”) e os factores económicos (três “muito importante” e quatro “importante”) são menos consensuais.

Destaca-se então o conforto como motivo importante para a escolha de uma casa de madeira, no entanto esta noção é aqui considerada de forma algo abrangente, havendo entrevistados (pelo menos em quatro casos) que referiram explicitamente que as pessoas mais sensíveis procuram a casa de madeira pela qualidade do ar interior. Outros consideram o conforto como o bem-estar geral subjectivo associado à presença da madeira, sendo este conceito associado às pessoas que valorizam a natureza. Esta última característica relaciona-se também com a singularidade arquitectónica que é proporcionada por uma casa de madeira. Conclui-se que os factores de escolha de uma casa de madeira são em geral subjectivos, relacionados com o conforto percebido e com a atractividade da sua Arquitectura que se destaca pela diferença relativamente à construção corrente.

Segundo as empresas os factores ambientais não têm grande influência na escolha, provavelmente porque os benefícios ambientais são de difícil percepção no contexto da construção de uma casa. Dois entrevistados consideraram que o argumento ambiental tem sido aproveitado de forma exagerada, de tal modo que as pessoas acabam por considerar que há mais marketing do que rigor nas mensagens que são transmitidas. Nesta linha

referiram que seria muito útil existir uma associação dos industriais das casas de madeira que promovesse de forma científica e pedagógica o uso da madeira na construção em Portugal. Quanto à economia, vários entrevistados referiram que eram comuns as abordagens de pessoas motivadas pela ideia ilusória de que os preços de uma casa de madeira são inferiores aos de uma casa com estrutura de betão armado. A maioria das empresas refere insistentemente que o preço não é o factor diferenciador de uma casa de madeira.

Em relação ao tipo de agentes que contactam as empresas, os clientes finais são os mais frequentes, seguidos pelas abordagens dos Arquitectos (cf. Figura 328). A maioria das companhias referiram que os clientes que contactam as empresas não têm dúvidas de que pretendem uma construção em madeira. Os contactos são em geral realizados pelos clientes no sentido de obter um orçamento cujo objectivo é a sua comparação com outros orçamentos de outras companhias.

Um dos entrevistados comentou que se assiste a alguma irracionalidade na avaliação das diferentes propostas por parte dos clientes uma vez que as soluções construtivas e estruturais comparadas são normalmente diferentes (tipo de estrutura, tipo de envolvente, qualidade da madeira, extras etc.). Apesar dessas diferenças, os preços são interpretados como estando referidos a realidades semelhantes. Algumas empresas referiram ainda que há clientes que abordam as empresas com o objectivo de corrigir problemas depois de terem tido experiências negativas com a construção em madeira devido a soluções deficientes, associados a ofertas de baixos preços, mas sem garantias de qualidade e de assistência futura.

Relativamente ao universo de clientes que as empresas recebem, dois dos entrevistados coincidiram na tipificação que efectuaram em função das características etárias, financeiras e motivacionais. Foram referidos três tipos de clientes: 1) Os jovens que apreciam modelos de Arquitectura contemporânea e que têm um suporte financeiro de familiares mais velhos (geralmente dos pais); 2) Os apreciadores de casas de madeira com conhecimento de causa por terem vivido ou contactado com casas de madeira no estrangeiro, apreciando em geral modelos tradicionais; e finalmente 3) As pessoas que pretendem uma segunda habitação unifamiliar, com objectivos de lazer, tentando construir em geral em terrenos nas suas localidades de origem, que obtiveram por herança.

#### 4.2.1.5 PROCESSO DE FABRICO E CONSTRUÇÃO

O processo de pré-fabricação mais comum entre as empresas entrevistadas é o fabrico de componentes em função das definições específicas de cada projecto (doze respostas “frequentemente” e uma “ocasionalmente”) seguido pelo uso de elementos normalizados disponíveis no mercado. Para algumas empresas, o fabrico na obra com reduzido nível de pré-fabricação é considerado racional e eficiente nos edifícios de madeira devido à rapidez de produção e montagem associada aos processos utilizados (quatro respostas “frequentemente” e três “ocasionalmente”). Algumas empresas instalam em obra módulos produzidos e montados em fábrica (três “frequentemente” e três “ocasionalmente”), ou em certos casos módulos parciais. Duas dessas empresas referiram que com alguma frequência são os acessos ao local da obra que não permitem a pré-fabricação de módulos.

Todas as empresas consideraram que a distância da obra à fábrica não é um factor limitador da viabilidade da obra, embora como é natural a distância tenha um reflexo nos custos. Algumas empresas acrescentaram que o custo de transporte não é o que mais peso tem no preço final, sendo mais importante o custo associado às equipas de trabalhadores deslocadas. No entanto, estes factores dependem de cada contexto, havendo algumas

empresas que trabalham com as suas próprias equipas, enquanto outras contratam equipas em função das características e dos locais da obra.

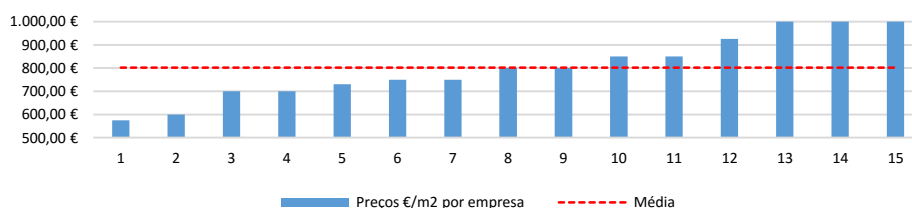


Fig. 329 - Preço médio por m² de uma casa de madeira de qualidade média, por empresa.

Os preços finais de uma casa de madeira são sempre uma mera indicação, porque o mesmo tipo estrutural pode ter um custo maior ou menor consoante o tipo de acabamentos utilizados e o grau de exigência dos detalhes. Todas as empresas avançaram com preços indicativos para uma casa de madeira média, havendo no entanto valores muito dispares que variam entre os €575/m² e os €1000/m². A média dos preços apontada pelas 15 empresas é de cerca de €800/m².

#### 4.2.1.6 MÉTODO E CONCEPÇÃO DO PROJECTO

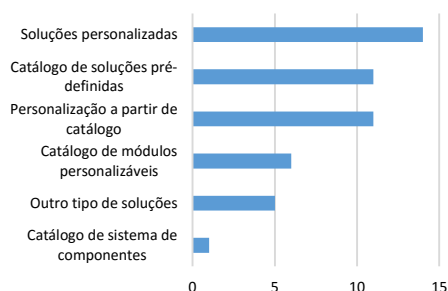


Fig. 330 - Forma de apresentar a oferta aos clientes.

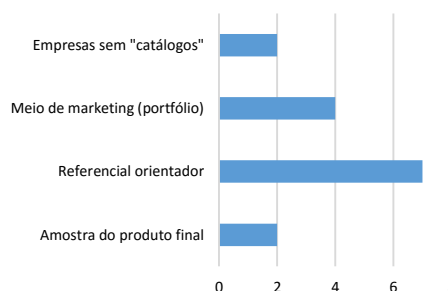


Fig. 331 - Objectivo dos catálogos de soluções nas empresas.

Todas as empresas, com a excepção de uma, apresentam entre outras possibilidades, o produto “casa de madeira” como uma solução completamente personalizada, incluindo também todas elas um portfólio de soluções disponíveis para consulta dos clientes, funcionado em alguns casos como um “catálogo de soluções” ou como um “livro de padrões” (cf. Figura 330). Este é um dispositivo comum na actividade das empresas, seja ele baseado em soluções pré-definidas (onze respostas), ou baseado em sistemas modulares personalizáveis (seis respostas).

As empresas com um maior volume de produção e casas de madeira tendem a oferecer aos seus clientes um catálogo detalhado apresentando soluções de diferente tipo agrupadas em famílias estilísticas e/ ou em tipos estruturais. Apenas duas empresas declararam não incluir um tal tipo de dispositivo, coincidindo com situações em que as casas de madeira são um produto secundário ou com uma produção de reduzida quantidade. Entre as companhias que apresentam catálogos de soluções, apenas duas consideraram que estes são “pouco importantes”, tendo as restantes feito avaliações de “muito importante” (cinco respostas) ou “importante” (seis respostas).

O objectivo de um “catálogo de soluções” é para a maioria das empresas (sete respostas) uma referência de apoio às escolhas dos consumidores (cf. Figura 331). A maioria dos entrevistados disse que dificilmente os clientes aceitam as soluções tal como as empresas as apresentam, mesmo que as alterações conduzam a aumentos nos custos da obra. Apenas duas empresas consideraram que o catálogo oferece produtos que os clientes aceitam sem

efectuar alterações. Quatro empresas consideraram que os catálogos funcionam mais como meios de marketing, ou seja como forma de mostrar ao público a capacidade e o nível de produção da empresa. Foi possível observar que diversas companhias utilizam as suas obras concluídas ou os seus protótipos de exposição como modelos que funcionam como catálogos ou que pelo menos lhes servem de complemento.

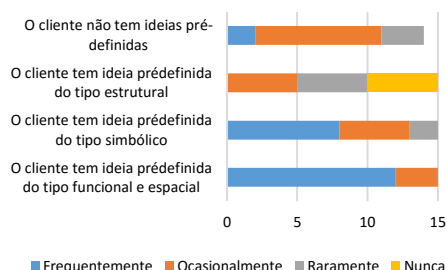


Fig. 332 - Processo de abordagem do cliente ao projecto.

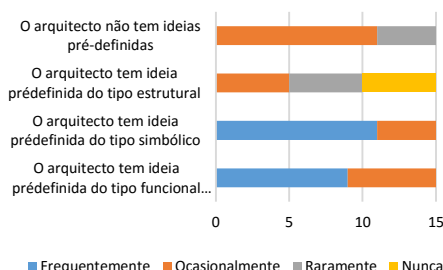


Fig. 333 - Processo de abordagem do Arquitecto ao projecto.

Quando os clientes abordam as empresas, a maioria dos clientes tem já uma ideia pré-definida do tipo funcional de casa que pretendem construir (doze respostas), mas menos são os que têm noção do tipo simbólico (linguagem, proporções, detalhes e acabamentos) e é frequente não haver consciência das definições estruturais pretendidas (cf. Figura 332). Ainda que com menos respostas, as empresas apontaram a existência de clientes sem ideias pré-definidas que consultam as empresas para apoio nos serviços de projecto desde as fases iniciais (duas respostas “frequentemente” e nove “ocasionalmente”).

Os Arquitectos, tal como esperado, consultam as empresas com vista a obter serviços de consultoria e de construção já com ideias mais definidas sobre os tipos funcionais e simbólicos das suas soluções. Os tipos estruturais, no entanto não são normalmente previstos pelos arquitectos nas ideias que apresentam às empresas (cf. Figura 333).

As companhias utilizam normalmente as ideias pré-definidas dos clientes como um ponto de partida para o desenvolvimento das soluções, embora assumam a necessidade de efectuar adaptações (14 respostas). Quando os clientes não surgem com ideias pré-definidas, o processo mais utilizado consiste em personalizar soluções escolhidas a partir de um catálogo (oito respostas), sendo depois referido o processo de definição de soluções completamente personalizadas (sete respostas).

#### 4.2.1.7 O PAPEL DO ARQUITECTO

Todas as empresas disponibilizam serviços de projecto de Arquitectura, Engenharia estrutural e restantes especialidades. Porém, sete empresas contratam serviços externos de Arquitectura e outras sete contratam serviços externos de Engenharia de estruturas. Normalmente os serviços contratados incidem em parceiros habituais. A intervenção dos Arquitectos, para além da elaboração do projecto de licenciamento para aprovação das autoridades locais, é geralmente menor na fase de projecto de execução e nas actividades de coordenação.

Deve ser referido que normalmente, nos casos em que os serviços de Arquitectura são contratados pelo cliente, as empresas preparam um processo para auxiliar o Arquitecto responsável pelo licenciamento. Quanto ao conhecimento das especificidades da construção em madeira (e da maior ou menor dificuldade em desenvolver convenientemente as soluções), o Arquitecto é visto pelas empresas como um profissional que evidencia “muitas dificuldades” (sete respostas) ou “algumas dificuldades” (sete respostas). Por “dificuldades”



entenda-se dúvidas de projecto, falta de conhecimento ou a adopção de soluções consideradas deficientes. Os aspectos em que as dificuldades são mais evidentes são os relativos às exigências de durabilidade (oito respostas “muitas dificuldades” e cinco “algumas dificuldades”) (cf. Figura 334). O comportamento estrutural e higrométrico da madeira e a execução de detalhes de construção foram também assinalados, embora com menos importância. A lógica dos sistemas de construção e das regras de fabrico é também referido, mas ainda com menos número de respostas que os anteriores factores.

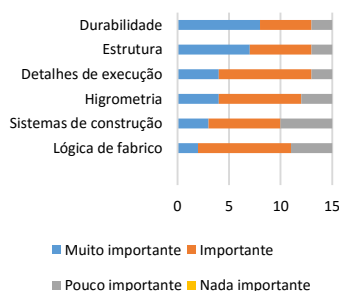


Fig. 334 - Dificuldades do Arquitecto.

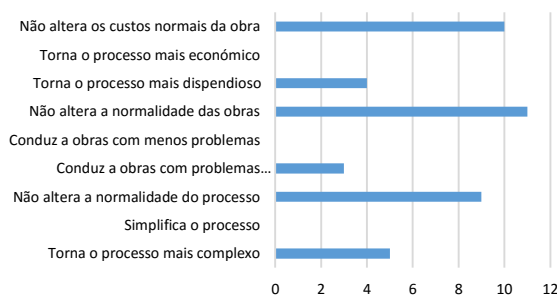


Fig. 335 - Implicações da intervenção do Arquitecto no processo de projecto.

Pode acrescentar-se que um dos entrevistados considerou que os casos em que as soluções dos Arquitectos falham são explicadas pela importação acrítica de modelos provenientes da Europa central e do norte, cujo desempenho no contexto nacional (diferente em termos de temperatura média e as suas variações e em termos de condições de humidade), se revela deficiente.

O Arquitecto no entanto é considerado um interveniente importante, como seria de esperar, nas fases de definição de projecto de execução, de implementação do programa e na definição de soluções formais. A actividade de adaptação e personalização das soluções de catálogo às necessidades dos clientes e aos locais de implantação pelo Arquitecto não é considerada importante por metade das empresas. Também pouco importantes para metade das empresas são as actividades de definição dos acabamentos e pormenores técnicos.

Questionadas sobre se a intervenção do Arquitecto conduz a obras mais complexas, mais caras e com problemas posteriores (cf. Figura 335), a maioria das empresas respondeu que esse factor não altera a normalidade do processo, embora algumas empresas tenham considerado que o processo fica acrescido de maior complexidade (cinco respostas), de problemas posteriores (três respostas) e de custos mais elevados (quatro respostas). Nenhuma empresa respondeu que a intervenção do Arquitecto torna o processo menos complexo, limita os problemas ou reduz os custos.

Uma das empresas que considerou que a intervenção do Arquitecto conduz a obras com custos mais elevados, defendeu que esse aumento do preço surgia naturalmente associado a um acréscimo de qualidade. A maioria das empresas defendeu ainda que a Engenharia estrutural deveria estar integrada na empresa (oito respostas), em oposição a uma minoria (quatro respostas) que considerou que deveria ou poderia estar integrada na equipa de projecto ou que deveria ser contratada pela empresa (duas respostas). Algumas companhias fizeram notar que quando o projecto de estruturas é executado por gabinetes externos, os componentes estruturais tendem a ser sobredimensionados.

#### 4.2.1.8 ESCOLHA E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

Durante a fase de definição inicial do projecto, os clientes não equacionam normalmente a escolha do tipo estrutural como um problema em si mesmo. Metade das empresas

responderam que raramente é mencionado o tipo estrutural por parte dos clientes, enquanto três consideraram que este aspecto nunca é mencionado. A escolha dos tipos estruturais ocorre frequentemente (sete respostas) e ocasionalmente (oito respostas) simultaneamente à escolha do sistema formal (cf. Figura 336). É também frequente (nove respostas) e ocasional (três respostas) que a escolha seja realizada depois da definição do sistema formal. Apenas em três respostas se indica que a escolha do tipo estrutural é realizada em primeiro lugar (frequentemente e ocasionalmente). A escolha simultânea dos tipos estruturais e formais é uma situação que ocorre principalmente nos casos em que as companhias têm um catálogo organizado de soluções associando o sistema construtivo a cada sistema formal.

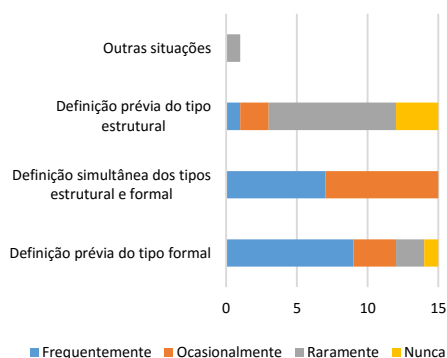


Fig. 336 - Escolha do tipo estrutural.

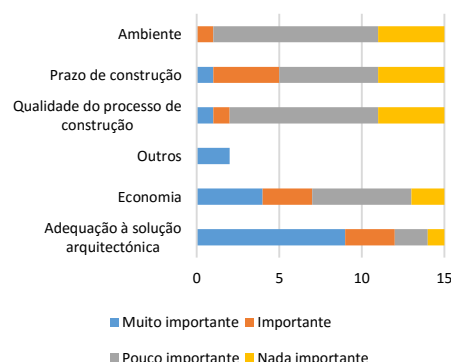


Fig. 337 - Critérios de escolha do tipo estrutural.

Alguns entrevistados mencionaram que quando os clientes escolhem uma solução de catálogo como referência para o desenvolvimento do projecto, as empresas sabem automaticamente qual o tipo estrutural é o mais adequado, até porque em certos casos, o próprio catálogo faz *a priori* uma distinção de soluções em função do tipo de estrutura utilizada. Por exemplo, a Casema distingue entre as colecções “Novo e Velho milénio” associadas ao sistema de paredes leves tipo pranchas e montantes e a colecção “New wave” associada aos reticulados leves, a Rusticasa tem no seu catálogo uma “linha tradicional” e outra “contemporânea”, e a Logdomus faz a distinção entre modelos de “Arquitectura Moderna” e “troncos de madeira”. Quanto ao momento da escolha dos tipos estruturais, esta é realizada logo nas fases iniciais do projecto, referindo-se o programa base como a fase em que a escolha é mais frequente (nove respostas), decrescendo a frequência das escolhas à medida que as fases avançam.

A escolha do tipo estrutural, que é normalmente definida nas fases iniciais de projecto, é realizada considerando a adequação à solução arquitectónica como o critério mais importante (cf. Figura 337 - nove respostas “muito importante” e três “importante”). Os restantes critérios são menos importantes, mas a economia é ainda o segundo critério mais mencionado, sendo considerado “muito importante” (quatro respostas) ou “importante” (três respostas). Os restantes critérios considerados são o tempo de construção, a qualidade do processo de construção e finalmente, o ambiente é considerado “pouco importante” (dez respostas) ou “não importante” (quatro respostas). Neste último caso, algumas empresas referiram que os clientes consideram que uma casa de madeira é já em si “ecológica”, não fazendo sentido a distinção de sistemas segundo critérios ambientais.

Em relação aos regulamentos e normas, a maioria das repostas desvaloriza o seu impacto na escolha dos sistemas estruturais, com a maioria das empresas a considerar que a sua influência é menos importante ou pouco importante. No entanto, as exigências técnicas são as que as empresas assinalam como mais importantes em comparação com as restantes

(estruturais, estéticas, normas específicas da construção em madeira), com uma resposta “muito importante” e quatro “importante”. Outras empresas argumentaram que as exigências térmicas para uma determinada zona climática podem obrigar a alterar as dimensões do isolamento térmico, mas não as características do tipo estrutural.

Relativamente à envolvente construída das casas de madeira, sete empresas consideraram que as diferentes zonas climáticas têm influência na definição das suas características enquanto oito responderam de forma oposta. Estas últimas entendem que as soluções que disponibilizam ao público já contemplam uma resposta às exigências para as situações mais desfavoráveis.

#### 4.2.1.9 COMPARAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

A Influência dos sistemas estruturais nas características dos sistemas formais foi considerada principalmente como “menos importante” (nove respostas) ou “não importante” (duas respostas). Ou seja, a maior parte das empresas considera que a escolha de um tipo estrutural não é limitadora do desenvolvimento das características funcionais, espaciais e simbólicas. A análise comparativa dos sistemas estruturais é levada a cabo “frequentemente” ou “ocasionalmente” por sete empresas e “raramente” ou “nunca” pelas restantes oito. Estas últimas empresas são necessariamente as que oferecem apenas um ou um número reduzido de sistemas estruturais.

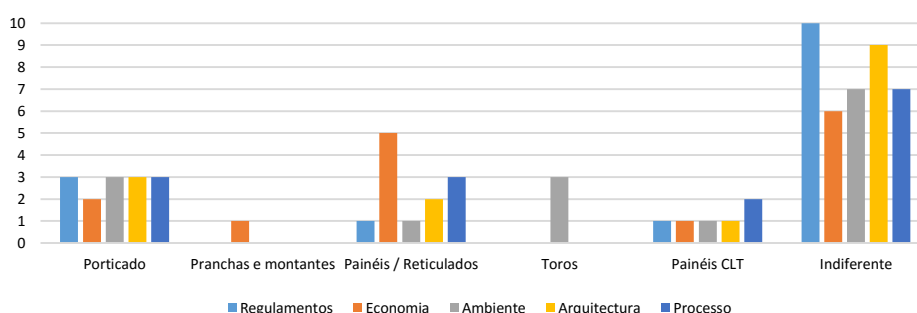


Fig. 338 - Relação adequação/ preferência entre critérios de projecto e sistemas estruturais.

A relação entre os sistemas estruturais mais utilizados e os critérios gerais de projecto é muito desvalorizada pelas empresas (cf. Figura 338). Dos sistemas estruturais considerados na entrevista (porticados, pranchas e montantes, reticulados, e painéis CLT) os porticados e os reticulados são os mais mencionados. Destacam-se os reticulados pela adequação ao critério economia e os porticados pelo número de menções em todos os critérios.

Questionados sobre a adequação dos sistemas estruturais às características arquitectónicas específicas das soluções (cf. Figura 339), as respostas foram previsíveis, associando-se os porticados a vãos estruturais e envidraçados mais amplos, espaços em *open-space*, flexibilidade estilística e a um carácter contemporâneo e de “verdade estrutural”. Os painéis leves reticulados foram associados à flexibilidade estilística, ao carácter contemporâneo e à minimização de cargas nas fundações. A construção de paredes pesadas de toros e as paredes leves de pranchas e montantes foram associados ao carácter tradicional e de “verdade estrutural”.

Uma das empresas teceu considerações críticas à ideia corrente segundo a qual as casas de toros e as casas de pranchas e montantes têm uma marca exclusivamente tradicional. Esta empresa referiu que o carácter contemporâneo de uma casa também pode ser conseguido recorrendo a estes sistemas estruturais.

Observou-se ainda que os painéis de lamelados cruzados colados são mencionados menos frequentemente porque há menos empresas a operar com este sistema. As empresas que incluem este sistema na gama de produtos que oferecem, associam-nos a características arquitectónicas de vãos amplos, volumes salientes, flexibilidade estilística e carácter contemporâneo.

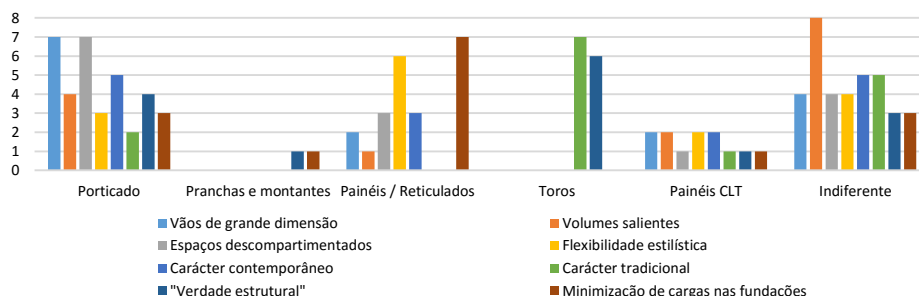


Fig. 339 - Relação de adequação/preferência entre critérios arquitectónicos e sistemas estruturais.

#### 4.2.1.10 PROCESSO DE PROJECTO

A maioria das empresas conseguem com facilidade fornecer uma estimativa de custo a partir de desenhos esquemáticos à escala 1/200. Este processo implica a definição de preços médios por metro quadrado por parte das empresas que no entanto sublinham que há factores adicionais a considerar nos orçamentos, como o nível de qualidade dos acabamentos e o factor de escala, que implica que o preço por metro quadrado reduza quanto maior o volume de obra em causa. Apesar de não ser do agrado das empresas, as estimativas de custo com base em valores de referência é uma exigência do mercado. Para além dessa estimativa, todas as empresas referiram que com base num projecto à escala 1/100 (correspondendo à fase de projecto base), é possível fornecer um preço final para a obra.

As empresas são flexíveis quanto à altura em que o contrato de adjudicação da obra deve ocorrer, sendo que a maioria (nove respostas) considera que deve ocorrer depois da obtenção do licenciamento municipal. Quanto ao desenvolvimento do projecto de execução por parte do Arquitecto, percebeu-se no decorrer das entrevistas que esta fase apenas ocorre em alguns casos uma vez que grande parte dos detalhes e especificações são realizadas pela empresa. Os desenhos de execução de Arquitectura tendem a ser complementares (quando existem) dos desenhos de fabrico e montagem da estrutura, da envolvente e da compartimentação interior. Sete empresas consideram que os desenhos de construção devem ser coordenados pela empresa, enquanto quatro responderam que este deve ser um processo simultâneo. O modelo de coordenação do projecto de execução, é uma prática muito variável de empresa para empresa e de projecto para projecto. O papel do Arquitecto neste processo varia muito, mas quanto menor é a dimensão do projecto, menor é a importância do Arquitecto.

#### 4.2.1.11 SÍNTESE DAS ENTREVISTAS

A entrevista efectuada às empresas sobre os aspectos metodológicos do projecto de casas de madeira permitiu obter algumas conclusões importantes para o desenvolvimento do método de projecto proposto:

- Os sistemas construtivos mais utilizados entre as empresas entrevistadas são os painéis reticulados e os porticados, até porque normalmente acabam por ser utilizados

conjuntamente. Quando o sistema dominante são os painéis reticulados, os pilares e as vigas são utilizados pontualmente em varandas, galerias ou vãos especiais mais exigentes.

- Os argumentos que mais sensibilizam os clientes em relação às casas de madeira são o conforto, seguido da Arquitectura e o tempo reduzido de construção. As questões ambientais e a economia não são os factores mais importantes havendo muitas opiniões que consideram que não são de todo argumentos que os clientes ponderem para a escolha de uma casa de madeira.

- O cliente aborda na maior parte dos casos as empresas de forma isolada, no entanto ocasionalmente o cliente surge acompanhado de um Arquitecto ou tem o seu suporte. Os Arquitectos também contactam isoladamente as empresas no sentido de obter apoio e informações para as suas soluções.

- Os clientes normalmente já estão decididos a construir em madeira quando contactam as empresas, mas um número significativo inicia o processo ainda com dúvidas sobre a opção por uma casa de madeira. A abordagem normal dos clientes consiste em recolher elementos, incluindo orçamentos para comparar as propostas das diferentes empresas.

- A pré-fabricação, em função das definições de projecto, é o processo mais utilizado. A distância não é um factor limitador da viabilidade da construção e os preços são muito variáveis.

- Quase todas as empresas dizem que oferecem soluções personalizadas, no entanto a existência de um catálogo mais ou menos estruturado faz parte da estratégia de comunicação da empresa com o mercado. A maioria das empresas considera o catálogo um dispositivo importante, no referem que este acaba por funcionar mais como uma referência orientadora para auxiliar a decisão dos clientes. Normalmente essas soluções de catálogo sofrem processos de adaptação e personalização. Nos casos em que os clientes abordam as empresas sem ideias pré-definidas, parte-se maioritariamente dos modelos existentes nos catálogos.

- No início do processo os clientes normalmente têm uma ideia pré-definida do sistema formal (funcional e espacial e simbólico), mas não têm tanta certeza quanto ao tipo estrutural. Já os Arquitectos, sem grande surpresa, têm ocasionalmente ideias pré-definidas quanto ao tipo estrutural das suas soluções.

- A intervenção dos Arquitectos em algumas empresas é considerada dispensável, ou resume-se mais à preparação do processo de licenciamento. Embora em muitas empresas o trabalho dos Arquitectos seja integrado com naturalidade, na maior parte dos casos o projecto é coordenado pelas próprias empresas. O projecto de execução elaborado por Arquitectos por vezes não existe e em algumas situações acaba por ser um complemento aos desenhos de fabrico e montagem. Mesmo sendo esta a realidade, nem por isso as empresas deixam de referir que estão disponíveis para outro tipo de processos.

- O Arquitecto é visto como um profissional com algumas dificuldades (dúvidas ou limitações) no conhecimento efectivo das condicionantes da construção em madeira, especialmente nos aspectos da durabilidade. No entanto o papel do Arquitecto não é percebido como negativo, embora também não seja visto como positivo.

- A escolha do sistema construtivo, que é realizada em fases iniciais do projecto (programa base) surge normalmente depois do sistema formal ser escolhido, sendo a escolha simultânea também um processo frequente.

- Os mais importantes critérios de escolha do tipo estrutural são a adequação à solução arquitectónica e a economia. O ambiente, a qualidade do processo de construção e o prazo de construção não são considerados muito importantes. Em geral as exigências regulamentares não são factores que sejam tidos em conta na escolha ou diferenciação do tipo estrutural por parte das empresas.
- Cada tipo estrutural tem apetências mais ou menos óbvias em relação às características espaciais e simbólicas, ou seja os alguns aspectos estruturais estão ligados directamente a aspectos formais como a abertura espacial, o carácter tradicional ou a flexibilidade estética.
- As empresas podem oferecer estimativas com base em preços por m<sup>2</sup> e orçamentos completos com base em projectos base. A adjudicação da obra pode ser realizada depois do licenciamento e o projecto de execução deve, na perspectiva da maioria das empresas, ser coordenado pelo fabricante.

#### 4.2.2 ENTREVISTAS SELECIONADAS

Ao longo desta investigação várias empresas de construção em madeira foram contactadas para recolha de informações. Os contactos sistemáticos foram efectuados em três alturas e com âmbitos diferentes, obrigando a deslocações e entrevistas com muitos dos intervenientes no processo de projecto, fabrico, construção e comercialização de casas de madeira. Muitas das conversas informais permitiram recolher opiniões e informações consideradas importantes por resultarem de vários anos de diferentes experiências acumuladas pelos profissionais das empresas no processo de projecto (que é o tema desta tese).

Na última campanha de contactos, coincidente com a finalização da fase do caso de estudo, foram entrevistados representantes de três empresas: a Casema, a Rusticasa e a Tisem. Cada um dos entrevistados, apesar de funcionalmente apresentarem competências polivalentes nas respectivas empresas acabam por ter um perfil central diferenciado. Assim, pela Casema, Nuno Rebocho tem um papel predominantemente de gestor, Berta Villas pela Rusticasa tem um perfil de agente comercial e Luis Jorge pela Tisem, pela sua própria formação, foi considerado do ponto de vista das questões colocadas, fundamentalmente como projectista.

As entrevistas foram efectuadas em 9 e 10 de Setembro de 2015, tendo sido realizadas presencialmente. Foram colocadas três perguntas a cada um dos entrevistados, sendo a primeira pergunta sobre a dinâmica do mercado das casas de madeira, a segunda sobre a utilização da madeira nacional, e a terceira, aquela que mais interessa ao tema central da tese, sobre a intervenção dos Arquitectos nacionais no projecto de casas de madeira e sua colaboração com as empresas do sector.

##### 4.2.2.1 EMPRESA CASEMA

Nuno Rebocho. Porto de Mós, 09 de Setembro de 2015.

***1 - Qual a sua opinião sobre a dinâmica do mercado das casas de madeira em Portugal. Qual a aceitação das pessoas, o posicionamento das empresas e as perspectivas de futuro?***

O mercado emagreceu brutalmente e em especial no sector da construção civil. No sector das casas de madeira não foi diferente. Se os bancos não financiam as pessoas, estas não têm dinheiro para fazer as casas. Aquilo que eu vejo é que a tendência actual é para haver uma abertura à construção civil, ou seja os bancos começam agora a libertar algum dinheiro. Nunca se vai repetir a mesma situação do passado, mas estou confiante no mercado da habitação unifamiliar e sobretudo com estrutura de madeira.

Nós hoje na Casema, para além das construções com madeira exótica construímos também no sistema “*wood frame*” (reticulados leves), como é prática comum nos Estados Unidos da América ou no Canadá. Curiosamente nós temos fábrica própria no Brasil para as construções de madeira exótica, mas nos sistemas de madeira de menor densidade recorremos à madeira proveniente dos EUA. Estou convencido que que cá em Portugal o mercado para o nosso sector vai ter um posicionamento muito interessante, ou seja as pessoas vão começar a fazer cada vez mais casa em madeira, não tenho dúvidas disso. É preciso que haja financiamento do mercado para que as pessoas possam recorrer ao crédito à habitação para poderem construir as suas casas.

Quanto aos “*players*”, houve uma limpeza praticamente completa, ou seja desapareceram praticamente todos, existem “duas ou três empresas no mercado, e as restantes deixaram de existir, à semelhança também daquilo que aconteceu com as empresas de construção civil.

Hoje consegue-se ver uma grua aqui e uma grua ali, de vez em quando, mas nestes últimos anos não se via uma única grua no ar. As empresas de construção civil na sua grande maioria fecharam. Sobrevieram algumas que se dedicaram a obras de restauro, remodelação, e obras de manutenção. Também as grandes empresas de construção que se dedicavam às obras públicas saíram de Portugal. O sector vai começar a retomar lentamente embora nunca mais volte a ser aquilo que era. No nosso mercado das casas de madeira, sendo nós um nicho, temos uma margem de crescimento que considero muitíssimo elevada, muito maior do que a da construção civil em geral.

Quanto a “*players*” é como tudo, normalmente se tivermos um café que está a funcionar na nossa rua abrem logo outros dez cafés na nossa rua. Se o café não funcionar muito bem ninguém abre mais cafés. No sector das casas de madeira vai acontecer exactamente do mesmo modo. No dia em começar a crescer é natural que outros “*players*” comecem a entrar no mercado. Actualmente vão ter mais dificuldade para entrar do que no passado e eu acredito muito que quem já está no mercado, que já está implementado, que já tem uma marca que se aguentou, tem uma vantagem competitiva logo à partida. Portanto eu estou esperançado que nós iremos conseguir criar esse posicionamento e que teremos muitas casas para construir.

## ***2 - Qual o potencial da madeira da floresta nacional e quais os obstáculos à sua utilização nas estruturas de madeira do ponto de vista da Casema?***

Nós para trabalhar com madeiras mais macias podemos trabalhar por exemplo com o Pinho nacional. O Pinho bravo nacional é uma madeira muito boa, sem dúvida, mas a nossa indústria não está preparada. Se analisarmos a oferta, verificamos que 85% das serrações fecharam completamente e existem hoje muito poucas serrações. Depois temos também o mercado da pasta de papel que assumiu claramente a gestão das florestas. Portanto hoje produz-se madeira para celulose e pasta de papel e não se produz madeira para dar valor acrescentado, para usar na construção.

Em Portugal não temos uma oferta de madeira nacional que satisfaça as nossas necessidades e será muito difícil virmos a ter. Eu se quiser por exemplo construir uma casa no sistema “*wood frame*” e quiser utilizar vigas com 4cm de espessura por 25cm de alto, só com muito esforço eu consigo arranjar uma camioneta delas. Com muito esforço, comprando em três ou quatro sítios, mas se for 25cmx4cm, com 5m de comprimento, provavelmente então já nem consigo arranjar uma camioneta, só conseguirei encontrar metade. Porquê?

Porque o mercado e a indústria em especial não estão preparados para esta situação. Eu nos EUA ou no Canadá compro três navios de vigas dessas com 7m de comprimento. Em Portugal, quanto maior é o comprimento maior será a dificuldade. Ao contrário da nossa indústria que não está preparada, nos EUA ou no Canadá há uma especialização para esse tipo de fornecimento. Hoje quase 84% da construção dos EUA, fora das grandes metrópoles, é realizada em madeira. Quer dizer que têm tudo optimizado, ao nível não só dos componentes de madeira mas também de isolamentos e acessórios. Todos os produtos necessários à construção de madeira estão industrializados, mas cá em Portugal não é assim.

Em Portugal temos muita dificuldade, por isso o que é que se tem que fazer para alterar a situação? Temos de valorizar as matas! Elas hoje basicamente desenvolvem-se naturalmente sem intervenção, sem cuidados, sem desbaste e sem limpeza. Espera-se que o fogo não consuma a mata, mas frequentemente os incêndios ocorrem e a destruição concretiza-se. O



valor da floresta é reduzido, o uso da madeira na construção traria muito mais valor do que a pasta de papel. Eu acredito que a madeira como matéria-prima para a construção civil, quanto mais for utilizada mais se valoriza. E quanto mais for utilizada mais se valoriza e mais a indústria vai tirar proveito porque este é um ciclo tipo “pescadinha de rabo na boca”. O que acontece é que a indústria não está preparada porque não é rentável produzir boa matéria-prima. Por esse motivo não cuidamos das matas porque não vale a pena gastar dinheiro onde não se obtém retorno e assim nunca mais se sai deste ciclo. Ou há uma política de inversão deste ciclo como existe por exemplo nos países do norte da Europa ou nos EUA ou no Canadá ou então não há qualquer hipótese de reverter esta situação. Vê-se muito pouca madeira ser cortada para usarmos na construção civil. A maior parte da madeira que usamos vem do Norte da Europa ou das Américas, portanto vejo com muita dificuldade que a situação se altere embora o potencial exista na nossa floresta.

*- Mas o impulso necessário poderá vir do crescimento do sector das casas de madeira e das estruturas de madeira em geral?*

Poderá, mas lá está, a “pescadinha de rabo na boca” começa logo nas matas. Ninguém cuida das matas porque não vai ter o valor acrescentado. Mesmo que haja um cuidado nas matas, se o mercado da construção apenas executa uns telheiros, uns vigamentos e obras em quantidades muito reduzidas, a indústria não sobrevive. Não é como o mercado dos EUA. Nós compramos três contentores de material devidamente certificado, todo com a mesma bitola, todo certinho e sem falhas. Em Portugal se for comprar a três fornecedores diferentes e por vezes até no mesmo fornecedor, embora eu peça uma bitola de 25cmx4cm, uns componentes surgem com 24,5cmx3,75cm, outros com 25cmx4,5cm, outros com 25,5cm... Porque a indústria não está preparada para um fornecimento rigoroso.

*- E não é viável uma empresa como a Casema vir a adquirir uma mata para produção de madeira para a construção?*

- A política de empresas que iniciam o ciclo e que o completam já acabou. Primeiro seria preciso ter um poderio económico gigantesco. Segundo, era preciso dominar todos os diferentes sectores e ninguém tem conhecimento de todos os sectores. O processo tem que ser feito com parceiros cada qual no seu sector: uns cuidam da mata, outros fazem a serração e depois temos a nossa parte que é a produção de componentes e a execução.

Se olharmos para outros países, no Norte da Europa, nos EUA ou no Canada, vemos que a indústria funciona no seu todo com empresas diversas, temos os madeireiros, temos as serrações e temos os construtores. Acho muito complicado que possamos ter uma situação destas porque embora haja grandes grupos cá em Portugal, a própria dimensão do sector das casas de madeira não é suficientemente grande (é um nicho) para impulsionar esse processo. Mesmo que o mercado cresça muito eu acho difícil concretizá-lo.

Acontece que continuará a haver sempre a oferta proveniente de matas devidamente geridas e certificadas e bem ordenadas do Norte da Europa que consegue colocar a madeira no nosso mercado a um preço muitíssimo mais interessante que propriamente o nosso, embora efectivamente o Pinho nacional tenha características físico-mecânicas, no meu entender, muito superiores às do Pinho Nórdico. Nós trabalhamos muito com o Pinho Oregon, que no Canada e nos EUA é uma espécie abundante - é um Pinho intermédio - não é tão macio e esponjoso como o Pinho nórdico mas já tem muito mais fibra, suporta muito mais do ponto de vista estrutural. O nosso Pinho a esse nível é espectacular, mas nós não temos ninguém a cuidar das nossas florestas, continuamos a ver as nossas florestas completamente

desorganizadas. A única coisa que ainda resta são os pinhais de Leiria e as matas nacionais, mas de resto é muito difícil ver talhões devidamente plantados e zelados para um crescimento efectivo.

A indústria não absorve a nossa madeira porque vai buscar componentes a outros lados. Então é realmente uma “pescadinha de rabo na boca”. Isto já vem a ser debatido há alguns anos. Mesmo quando nós tínhamos o sector da construção a funcionar em pleno a madeira nacional não era muito utilizada. Acontece também que a indústria da celulose domina as florestas. Aliás são (somos) uns dos maiores “players” do mundo nesse sector.

**3 - Qual é a situação actual da colaboração dos Arquitectos com as empresas de casas de madeira. Que tipo de processo de colaboração e metodologia de trabalho deve ser seguido entre ambas as partes?**

- Eu acho que a ideia de que as empresas de casa de madeira não necessitam de Arquitectos sempre foi uma falsa questão. Foi mais por desconhecimento por parte dos Arquitectos que essa ideia vingou, porque nós temos modelos *standard* meramente para dar ideias e sugestões. Mas confesso que raramente fazemos modelos *standard*.

Nós hoje (dia 9 de Setembro de 2015) vamos lançar uma nova colecção que foi desenvolvida por Arquitectos. Um conjunto de Arquitectos trabalhou na elaboração dessa colecção constituída por 14 modelos, meramente sugestivos, porque já sei que não os vamos construir literalmente. Vamos fazer algo que pode partir daquela base, ou de algo completamente diferente, só que as pessoas precisam de ter uma ideia para perceber aquilo que eventualmente querem. Mas basicamente os nossos projectos são todos desenvolvidos por Arquitectos. Nós temos Arquitectos que trabalham connosco, seja integrados na empresa ou fora dela, mas qualquer projecto no nosso caso é desenvolvido por Arquitectos. E se um cliente chegar aqui e escolher um modelo *standard*?

Tudo bem, ele escolhe o modelo, mas de qualquer das maneiras temos de fazer o projecto para aprovar na Câmara municipal. O Arquitecto elabora o processo de Arquitectura, depois os Engenheiros elaboram o processo das especialidades, exactamente como nos processos correntes, embora a base já esteja desenvolvida. Todas as nossas colecções foram desenvolvidas por Arquitectos, não foram curiosamente desenvolvidas pelo *staff* da empresa.

Eu penso que infelizmente hoje em Portugal existem poucos Arquitectos a operar. Uns saíram do país porque o sector da construção civil parou. Hoje ir para um curso de Arquitectura ou Engenharia civil na Universidade é quase uma atitude suicida porque o mercado Português não está absorver essa massa de trabalho. As pessoas podem fazê-lo e devem fazê-lo se gostam, mas eu tenho vários Arquitectos amigos que se foram embora, emigraram ou estão a trabalhar noutros sectores de actividade. Uns ligaram-se mais ao sector do *design* e do *design* industrial e a alguns sectores de actividade nacionais que estão a exportar, como o mobiliário e os sapatos. A Arquitectura está numa situação difícil porque a construção civil tem estado parada. Se hoje as pessoas não têm dinheiro para construir uma casa então não faz sentido pedirem um projecto ao Arquitecto. Por outro lado a flexibilidade dos Arquitectos não tem sido muito grande...

Não quero de maneira nenhuma fazer uma crítica à Escola de Arquitectura que existe em Portugal. Eu acho que o ensino produz muitos Arquitectos que pensam; “eu sou um artista e eu agora como artista sou um Siza Vieira”. E não pode haver só “Sizas Vieiras”, têm de haver outros. Nós temos bons Arquitectos e com uma grande reputação, mas quem sai da Universidade não tem que ser necessariamente um grande artista, até pode ser um melhor

Arquitecto se não for pretensioso. Há Arquitectos que vivem muito do estatuto e pouco da prova dada.

Em Portugal há um factor que jogou muito contra os Arquitectos que foi a possibilidade de qualquer Engenheiro poder fazer um projecto de Architectura, mas o contrário nunca foi possível. Os Arquitectos sempre foram por isso uma classe com menos prestígio comparativamente com o Engenheiro. O Engenheiro podia ser auto-suficiente do princípio ao fim, o que não acontecia com o Arquitecto. Durante muitos anos qualquer Engenheiro aprovava um projecto numa câmara municipal sem a participação do Arquitecto. Em Espanha ou França isso já era impossível há muito tempo.

A Architectura deve ser para os Arquitectos e a Engenharias para os Engenheiros, assim é que deve ser porque houve uma formação para esse efeito. Mas os Arquitectos não têm que ter a ideia pré-concebida de que são uns artistas e que cada obra que fazem tem que ser uma obra de arte. Esta atitude arrasta alguns problemas como o elevado preço dos serviços que são cobrados e depois a premissa da auto-satisfação mais do que a satisfação do cliente. Eu por exemplo conheço Arquitectos nos EUA que não têm a mesma atitude que os nossos Arquitectos.

- *São mais pragmáticos...*

- São muito mais pragmáticos, e depois existem também planos de pormenor para a maior parte das situações, que ditam muitas regras a seguir e que determinam grande parte da Architectura. Os Arquitectos lá são muito castrados na sua imaginação, o que os obriga a respeitar pré-definições. Esta situação tem aspectos menos bons e aspectos muito positivos. Mas os Arquitectos americanos são mais pragmáticos, trabalham mais o processo de licenciamento do que trabalham a criação propriamente dita.

Eu acho que deve haver criatividade, mas deve haver um meio-termo que é seguido em geral pelos Arquitectos que trabalham connosco e que são mais pragmáticos. Os Arquitectos com que trabalhamos tanto fazem projectos de grande criatividade como se ocupam de processos de licenciamento de barracões. A maior parte dos Arquitectos não está nesse registo, porque consideram que o seu estatuto não lhes permite ocuparem-se de processos menores.

Os Arquitectos consideram em geral que não podem debruçar-se sobre projectos que já estão elaborados numa empresa de casas de madeira que oferece modelos *standard*. Isso é errado porque nos outros países os Arquitectos são precisos até para desenvolver as colecções das empresas. Nós temos três colecções e todas elas foram desenvolvidas por Arquitectos e não tem de haver a ideia de que o Arquitecto é dispensável. Antes pelo contrário, ele é bem preciso, mas temos que encontrar uma relação entre o serviço que é prestado, a objectividade do mesmo, e o preço que querem propor pelo serviço que é prestado. Tem que haver aqui um equilíbrio que torne os processos exequíveis.

- *Isso quer dizer que pode haver uma colaboração entre o Arquitecto e a empresa. A empresa já tem um determinado "know-how" e a empresa está aberta a partilhar esse conhecimento de modo a haver uma convergência...*

- Da nossa parte sempre foi assim e o que eu estava a tentar explicar é que da parte dos Arquitectos nunca houve tanto essa abertura. Da nossa parte sempre houve e é o que faz sentido. É preciso que o Arquitecto chegue e perceba que não está habituado a trabalhar e a dominar esta matéria-prima e que há algumas *nuanças* que ele tem de perceber. O Arquitecto não pode simplesmente desenhar com base nos conhecimentos que tem sobre outros materiais com comportamentos diferentes do comportamento da madeira.

A madeira tem algumas *nuances*, não são muitas, mas fazem a diferença entre o resultado final poder vir a ser bom ou não o ser. Eu acho que nós como empresa temos um papel importante na oferta desse *know-how*. E nós damos sempre o nosso *know-how*, aliás partilhámos durante anos o nosso conhecimento junto das Universidades na área da Arquitectura e da Engenharia. Sempre demos toda a informação e começaram-se a ver alguns resultados e trabalhos de fim de curso na área da Arquitectura com estruturas de madeira, muito graças ao trabalho que desenvolvemos há alguns anos atrás.

Hoje fala-se de madeira na Universidade mas há uns anos atrás era impensável. As cadeiras que cobriam o ensino da madeira abordavam-na superficialmente e não a aprofundavam. Hoje não. Hoje existem universidades que têm especializações nesta área. A faculdade de Engenharia de Coimbra está muito especializada na área das estruturas de madeira e na utilização das madeiras e este conhecimento afecta também a Arquitectura.

Depois também há o factor importante dos meios de comunicação que permitem que qualquer pessoa tenha a informação na ponta dos dedos sobre o que se passa no mundo inteiro sobre estruturas de madeira, permitindo conhecer estruturas espectaculares desenvolvidas por Arquitectos extraordinários. Estão-se a fazer edifícios de grande escala e arranha-céus em madeira demonstrando que a madeira é um material extraordinário. Foi o material que o Homem utilizou assim que saiu das cavernas. Até hoje a madeira tem acompanhado o Homem no seu desenvolvimento.

Se entrarmos aqui com os factores de sustentabilidade e dos ecossistemas, temos de reparar que as nossas casas de madeira são armazéns de CO<sub>2</sub> gigantesco. A árvore absorve o CO<sub>2</sub> através da fotossíntese lançando oxigénio na atmosfera, e produzindo celulose. A decomposição de uma árvore conduz à libertação de CO<sub>2</sub> novamente para a atmosfera, mas no limite a madeira usada na construção pode no final de vida ser utilizada como combustível libertando o CO<sub>2</sub> em troca de energia.

A Casema lançou um artigo onde se refere que a quantidade de energia consumida para produzir matérias-primas destinadas à construção de uma casa de alvenaria é 20 vezes superior à energia necessária para construir a mesma casa em madeira. Fala-se tanto em poupança energética nas áreas dos interesses instalados que por vezes nos esquecemos que existe o custo energético da produção. Mas não se fala tanto nisso porque o que é “interessante” é vender os produtos que já existem no mercado e que se estão a produzir todos os dias independentemente do custo energético da produção.

Apela-se depois à necessidade de termos casas altamente eficazes do ponto de vista energético após a construção, e eu concordo, mas e a eficácia antes da construção? Pouca gente fala nisso, porquê? Por causa dos interesses instalados. Pode-se dar um exemplo simples: nos últimos 10 anos a energia gasta para construirmos casas de alvenaria permitiria construir casas de madeira durante dois séculos. Só não se poupa mais energia porque não se quer. Mas como não é conveniente para os interesses instalados não se fala muito nessa matéria.

#### 4.2.2.2 EMPRESA RUSTICASA

Berta Villas. Vila Nova de Cerveira, 09 de Setembro de 2015.

**1 - Qual a sua opinião sobre a dinâmica do mercado das casas de madeira em Portugal. Qual a aceitação das pessoas, o posicionamento das empresas e as perspectivas de futuro?**

Eu considero que há uma tendência para um crescimento do mercado. Essa é a minha percepção com base naquilo a que tenho assistido desde há vários anos. Actualmente os Arquitectos apresentam cada vez mais soluções em madeira tanto ao nível da construção com estruturas de madeira como ao nível de obras com revestimentos de madeira. A Rusticasa tem realizado muitas obras desses dois tipos. Não sei se esta será apenas uma moda ou se é uma tendência para durar, mas espero que seja para durar. Considero que o futuro da construção em madeira ao nível do nosso país é muito sorridente.

*- Relativamente à crise pela qual passámos nota alguma retoma?*

Notou-se bastante crise, mas estamos agora novamente a engrenar nas vendas de casas de madeira para Portugal, ao contrário de outros mercados. O mercado espanhol por exemplo está a descer. Também o mercado francês [em França a Rusticasa tem a filial Eco-Concepcion-Bois Sarl] teve uma quebra substancial. Ao contrário desses dois países a procura de estruturas de madeira e revestimentos tem aumentado em Portugal.

## **2 - Qual o potencial da madeira da floresta nacional e quais os obstáculos à sua utilização nas estruturas de madeira, do ponto de vista da Rusticasa?**

Ao nível das madeiras nacionais não me parece que seja fácil poder utilizar o Pinho nacional uma vez que recorremos ao Pinho nórdico porque tem características estruturais mais favoráveis. Utilizamos o Eucalipto nacional em revestimentos, nomeadamente nos soalhos e temos que falar na Criptoméria que é o “nosso bebé”, e da qual gostamos muito. Não utilizamos a Criptoméria a nível estrutural para vigas e pilares, mas podemos utilizá-la em paredes estruturais nas casas de troncos maciços. A Criptoméria é uma madeira com características muito boas. Nós mandámos analisar a Criptoméria comparativamente ao Abeto nórdico e concluiu-se que a primeira tem características de isolamento térmico fabuloso.

As exigências térmicas ultimamente exigiam-nos que o tronco de 12cm fosse isolado. Actualmente, dependendo das zonas climáticas do país, conseguimos construir com tronco de 12 cm ou de 16 cm de Criptoméria sem isolamento térmico adicional. Por muito atraente que possa parecer o Pinho nacional, a Rusticasa vai continuar com a Criptoméria, porque é uma madeira com qualidades singulares, o cheiro, a cor, a suavidade tornam-na uma madeira encantadora. É o “bebé da Rusticasa” há anos, embora a certa altura tenhamos deixado de a utilizar porque o seu preço disparou, mas actualmente o preço tornou-se mais aceitável e voltámos a ela.

Mesmo nas casas de painéis [painéis reticulados leves], utilizamos a Criptoméria nos revestimentos. O revestimento em madeira de Criptoméria está a ser muito requisitado porque os Arquitectos estão a solicitar os revestimentos de madeira sem tratamento para envelhecer naturalmente e adquirir com o tempo um tom acinzentado.

Acabámos de construir um hotel em Foz Coa (Quinta do Vallado) e uma das grandes preocupações do Arquitecto era que o edifício envelhecesse naturalmente no exterior adquirindo os tons de cinzento claro. Então existem sempre duas opções para obter o envelhecimento natural nos revestimentos exteriores: ou utilizamos a madeira de Pinho tratada em autoclave que se se não lhe for aplicado nenhum produto fica acinzentada ao fim de 5 anos, ou recorremos à Criptoméria sem tratamento algum e obtemos o efeito que está patente nos revestimentos da nossa fábrica que foram aplicados há 10 anos e que estão impecáveis. Claro que a nível de durabilidade o Pinho tratado em autoclave é mais durável

porque tem o tratamento em autoclave, mas a Criptoméria tem todas as vantagens associadas ao facto de não necessitar do tratamento.

- *Quer dizer que não há perspectiva de virem a utilizar o nosso Pinho nas casas de painéis “reticulados leves” tipo “wood frame”.*

Não, só se for para ripas de cobertura, ripas de subestrutura de painéis, ou seja o Pinho nacional pode ser aplicado em componentes que totalizam um volume mínimo numa casa.

- *Mas não acha isso um contra senso uma vez nós temos uma floresta tão importante no nosso país e não a utilizamos. Não acha que as empresas das casas de madeira deveriam tentar...*

- Acho, acho que é uma pena até porque uma das grandes preocupações da Rusticasa é precisamente a de utilizar materiais nacionais. Mas a madeira de Pinho nacional não tem o mesmo comportamento que o Pinho nórdico que utilizamos, é uma madeira que se for utilizada nas condições em que é comercializada empena mais, tem tendência a fendilhar mais, e é mais nervosa. Uma vez mais digo que só se for utilizada para ripas, subestruturas, barrotes de soalho, tudo componentes secundários.

**3 - Qual é a situação actual da colaboração dos Arquitectos com as empresas de casas de madeira. Que tipo de processo de colaboração e metodologia de trabalho deve ser seguido entre ambas as partes?**

Cada vez mais temos Arquitectos a contactar-nos para realizar projectos que eles desenvolvem. O último que concluímos em parceria com um Arquitecto foi o Hotel que já referi...

- *E a nível da habitação unifamiliar?*

Temos menos contactos porque, por muito que custe dizer isto, os Arquitectos estão associados a orçamentos de obra mais elevados, ou pelo menos é esta a opinião que os clientes têm. A experiência que eu tenho na Rusticasa quando há clientes que contactaram previamente um Arquitecto e que têm um projecto de Arquitecto, acabam por não poder e não querer desembolsar os custos correspondentes ao projecto. Nessa situação inicia-se um processo de cortes no projecto... “tem que cortar aqui, tem que cortar ali”... e no final aquele projecto não é o que foi projectado pelo Arquitecto. As áreas, os acabamentos, os materiais empregues, acabam por ser diferentes do projecto inicial. A casa no final acaba por ser aquela que o cliente sente que quer.

Os clientes chegam ao catálogo da Rusticasa e dizem: “Olhe eu gosto muito desta casa, e não vou ter com Arquitecto nenhum porque é esta casa que eu quero”... “Quero fazer aqui umas alterações e fica pronto”... Claro que esta opção tem sempre a ver com o factor custo. O cliente tem no catálogo projectos sobre os quais a Rusticasa se disponibiliza a fazer as alterações pretendidas pelo cliente. A Rusticasa faz casas muito bonitas, mas também faz casas feias porque ouve o que o cliente quer e por vezes as escolhas do cliente conduzem a resultados menos interessantes, mas a perspectiva da Rusticasa é comercial, o objectivo é vender e satisfazer o cliente.

A casa é para o cliente viver não é para nós. Mas também temos o contrário, também surgem Arquitectos que nos surgem com projectos fantásticos, temos projectos realizados muito bonitos e que estão associados a clientes que têm capacidade financeira para pagar o projecto e isso é óptimo. Para mim é um desafio sempre que me surge um processo de projecto associado a um Arquitecto.

- Mas quando os Arquitectos trabalham em conjunto com a Rusticasa qual é o tipo de colaboração que se coloca em prática? Ou seja, uma vez que a Rusticasa tem o domínio técnico dos produtos, componentes e sistemas que fabrica, não acaba por entrar dentro do campo de acção tradicional do Arquitecto?

- Há todo o tipo de casos. Vou-lhe citar o caso do Vallado em que o Arquitecto coordenador do projecto era muito flexível. O Arquitecto, não tinha - como a maior parte dos Arquitectos em Portugal - muita experiência em construção em madeira e sabia ouvir. Isso é muito importante.

Os Arquitectos em Portugal não têm em geral experiência na construção em madeira e têm que nos ouvir porque nós temos essa experiência. Há aqueles Arquitectos que não gostam muito de ouvir e há os Arquitectos que ouvem e aos quais nós fornecemos informação justificada, nomeadamente ao nível das soluções estruturais, e acabamos por chegar a um consenso. Normalmente os Arquitectos aceitam as nossas definições.

No que diz respeito aos materiais de revestimento o Arquitecto propõe soluções e pede a execução de amostras e confirma connosco a exequibilidade e os possíveis inconvenientes e vantagens em relação à aplicação concreta nas casas de madeira. Se nos ouvirmos mutuamente, se houver diálogo, se formos flexíveis, acho que se pode chegar a um trabalho excelente. O caso recente da quinta do Vallado (casa do Rio - Quinta do Vallado, Foz Coa) foi um dos processos exemplares que tivemos.

#### 4.2.2.3 EMPRESA TISEM

Luís Jorge. Castelo Branco, 10 de Setembro de 2015.

#### **1 - Qual a sua opinião sobre a dinâmica das estruturas de madeira em Portugal e do mercado das casas de madeira em Portugal em particular. Qual a aceitação das pessoas, o posicionamento das empresas e as perspectivas de futuro?**

Tenho a percepção que no último ano, ano e meio se tem notado uma maior dinâmica e temos sentido na nossa empresa uma ligeira melhoria do mercado. O futuro é um pouco incerto. O futuro depende de factores conjunturais.

Acho que a construção em madeira não se distingue aqui da construção em geral. Talvez por se tratar de um nicho de mercado com um volume de trabalho inferior aos sistemas construtivos correntes, quando há um pequeno aumento em valor absoluto, este se traduz em termos relativos numa melhoria significativa no nosso sector. Mas parece-me que esta dinâmica tem mais a ver com as condições gerais do país e não propriamente com a tecnologia e com a capacitação das empresas. Na área da capacitação das empresas há ainda um longo caminho a percorrer. Quando me refiro a empresas estou-me a referir desde o âmbito do projecto até à execução. Parece-me que há um espaço de evolução muito grande.

- Nomeadamente ao nível de competências técnicas...

Claro, a nível das empresas de projecto a minha percepção é a de que não só ao nível da Engenharia, mas também da Arquitectura os técnicos têm pouca apetência para trabalhar com sistemas inovadores. Nessa medida o mercado da construção em madeira ressent-se.

Do ponto de vista da dinâmica das empresas e da competitividade, se por um lado há a tentativa de inovar para diversificar a oferta, por outro lado há o custo dessa inovação. O trabalho tem um custo adicional que muitas vezes não é possível fazer reflectir no preço de venda ao cliente. Nós na nossa empresa não actuamos só na construção em madeira,

fazemos trabalhos também em betão armado e aço de uma forma paritária, e naturalmente tentamos desenvolver o nosso trabalho em áreas em que a nossa competência é maior e dessa forma a nossa produtividade será também maior.

Sinto no contacto que tenho com os Arquitectos que há uma dificuldade no desenvolvimento independente dos projectos com estruturas de madeira. Há muitas dúvidas relativamente ao funcionamento dos sistemas e à interligação do sistema construtivo com as restantes especialidades nomeadamente com a Engenharia. Há inclusivamente, embora seja já menos frequente, as dúvidas relativamente à receptividade das entidades licenciadoras quanto aos sistemas de construção em madeira.

*- Mesmo ao nível dos painéis lamelados cruzados colados existem dúvidas?*

Aí é esmagador...porque a tecnologia é nova.

*- Mas existem também dúvidas da parte das entidades licenciadoras?*

- Não isso não. Estou a falar das dúvidas que alguns técnicos e o público em geral manifestam. Com frequência as pessoas acham que por termos um projecto ou uma intervenção em madeira, o processo de licenciamento é mais ligeiro. Mas o licenciamento para um projecto com estruturas de madeira obedece aos mesmos requisitos que qualquer outro projecto. Tem que haver um licenciamento de Arquitectura, tem que se juntar todas as especialidades e todos os termos de responsabilidade dos técnicos.

Claro que há diferenças nos projectos de construção em madeira. Uma das limitações tem a ver com a inexistência de um regulamento português de estruturas de madeira. Existe um regulamento português de estruturas de betão, existe um regulamento português de estruturas de aço, mas não existe um regulamento de estruturas de madeira. Aquilo que nós fazemos é usar os regulamentos europeus e até hoje nunca tive qualquer obstáculo nos licenciamentos. Talvez isso seja um pequeno obstáculo, entre outros.

*- Mas não basta utilizar o Eurocódigo?*

Acho que sim, é suficiente, mas precisaríamos de um documento em português. Um documento na língua nacional facilita sempre a divulgação.

*- Uma tradução do Eurocódigo não é suficiente?*

É suficiente, e circula entre os técnicos de forma não oficial, ou seja não está publicado pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ). No IPQ só existe a norma europeia na versão inglesa, não existe ainda a versão portuguesa - norma portuguesa. Como disse, os documentos circulam mas de forma informal.

*- Seria importante um documento oficial...*

Exactamente! Acontece que mesmo depois da publicação, a difusão do documento não é instantânea. Se formos a pensar o problema desde a base, ou seja desde a formação dos técnicos, exige-se uma actualização técnica e científica dos técnicos que exige algum tempo. A actualização não chega a todos os técnicos, nem ao mesmo tempo, nem de forma igual. Portanto é absolutamente natural que as pessoas hoje continuem a usar a construção em alvenaria e betão e é essa a tecnologia que ensinam na escola. Sendo assim, tenho a certeza que a divulgação e aceitação de um sistema construtivo é tão mais fácil quanto ele começar na escola, e quando na escola houver essa competência.



A construção metálica assistiu entre nós a um impulso nos últimos 10 anos porque foi acompanhada também pelo ensino nas escolas. Quando me formei, a construção metálica era uma opção de difícil acesso, ou seja era uma especialização, não era uma matéria transversal e hoje é uma matéria obrigatória.

*- E relativamente à madeira?*

Em Coimbra, a madeira é uma especialização. Eu diria que terão acesso a ela cerca de 10% dos alunos. Em Lisboa, no IST tanto quanto sei não existe essa especialização e quanto sei no Porto também não. Isto para falar nas Escolas de referência. A matéria da madeira nas Escolas de Engenharia e de Arquitectura existe ao nível da tecnologia, ou seja ao nível do material e construção.

Tive acesso a um inquérito que contabilizava as horas de formação do Engenheiro relativamente às madeiras e o resultado seriam cerca de 4 ou 5 horas de formação. Deve haver uma semana, duas ou três, não mais do que isso. Eu penso que esse défice depois se reflecte na actividade profissional, quer ao nível do projecto, quer ao nível das próprias empresas que têm mais dificuldade em encontrar técnicos.

*- A sua tese é a de que as escolas poderiam ter um impacto positivo na divulgação e aceitação das soluções com estruturas de madeira...*

Penso que era nas escolas que deveria ser feito o maior investimento das empresas no sentido de dinamizar o mercado. As empresas poderiam apoiar o ensino através de um modelo que é adoptado frequentemente no estrangeiro. Neste modelo, os professores são contratados para leccionar nas universidades, ensinando matérias relevantes. Um modelo semelhante a este poderia ser importante, no entanto seria um investimento de longo prazo, sem resultados imediatos para as empresas.

*- Relativamente ao caso específico das moradias unifamiliares? Esta não será a tipologia mais procurada para aplicação dos painéis lamelados cruzados colados...*

Na nossa actividade não há uma tipologia mais procurada, nós somos procurados por ...

*- Mas parece haver a ideia corrente de que os painéis lamelados cruzados são mais indicados para soluções mais arrojadas, ou seja para soluções a partir da média altura ou para grandes volumes de construção. Quais são as tipologias mais procuradas?*

A grande maioria do nosso trabalho é proveniente da nossa própria iniciativa. Nós vamos à procura do trabalho e propomos as nossas soluções. A nossa intervenção tem sido muito variada, desde projectos de pavilhões industriais, reabilitação, edifícios de serviços, equipamentos, etc. A habitação unifamiliar não tem tido ultimamente uma grande procura.

## **2 - Qual o potencial da madeira da floresta nacional e quais os obstáculos à sua utilização nas estruturas de madeira do ponto de vista da TSIEM?**

Eu acho que seria importante aproveitar os recursos nacionais por duas razões. Por um lado seria um elemento de marketing muito interessante, ou seja fazer passar a mensagem que estávamos a utilizar uma tecnologia de base nacional e uma matéria-prima nacional. As pessoas são sensíveis a esse factor, preferindo valorizar matérias-primas nacionais em vez de recorrer a matérias-primas importadas. A importância da aposta nos nossos recursos seria indiscutivelmente importante do ponto de vista económico, ambiental, e de ordenamento florestal.

Agora coloca-se a pergunta: “A madeira de Pinho tem a qualidade necessária?” A resposta é: “Tem!”. Estudos a que tenho tido acesso demonstram que conseguimos classificar a madeira de Pinho nacional no topo das madeiras resinosas. O *standard* hoje em dia na Europa é o C24 e nós com alguma facilidade conseguimos madeira com essa classe de resistência. A questão agora coloca-se mais uma vez a dois níveis. Por um lado não existe normalização que nos permita efectuar essa classificação. Hoje temos uma norma antiga, de 1995 creio eu, que só nos permite classificar a madeira numa classe de resistência C18 que não é o *standard* adoptado actualmente na Europa. Portanto a nossa norma não nos permite alcançar o *standard* que é o C24, por outro lado é uma norma que apesar de ser de 1995 não está ainda disseminada pelas serrações. São muito poucas as serrações que efectivamente são capazes de aplicar essa norma, eu diria mesmo que mais de metade das serrações nem sequer a conhece. Existem outras metodologias para classificar a madeira e essas então são ainda de mais difícil acesso. Para além deste aspecto, as empresas, na minha perspectiva, que não tenho um contacto próximo com as serrações, são empresas familiares, com tecnologia antiga e processos de transformação muito baseados na experiência e não tanto na inovação, o que significa que a madeira para estruturas entra aqui num ciclo de difícil rotura.

Parece-me que seria importante existir em termos comerciais a capacidade de comprar madeira de Pinho nacional da mesma forma como compramos produtos num supermercado ou numa grande superfície. Os produtos numa grande superfície estão numa prateleira e nós sabemos quais são as suas características. A compra da madeira deveria ser efectuada dessa forma, não deveria ser necessário mandar cortar a madeira, deveríamos saber as características dos produtos, e as suas secções e encomendar as quantidades pretendidas.

Com a madeira de Pinho no nosso contexto, não sabemos quais são as secções e comprimentos padrão, ou não existem em *stock* e portanto esta forma de lidar com a madeira no mercado dificulta a sua utilização. Por outro lado a floresta nacional de Pinho tem vindo a ser dizimada nos últimos anos. Às causas naturais, incêndios e pragas junta-se o desinvestimento que tem havido na própria floresta. Daí que eu tenha dúvidas que tenhamos também a quantidade necessária, embora tenhamos, estou certo e confiante, a qualidade.

- Mas a madeira de Pinho nacional poderia, por exemplo, vir a ser utilizada na produção de painéis lamelados colados?

Claro que sim, não só nos painéis mas também nas vigas e outros elementos estruturais, claro que sim, sem dúvida, e com muita vantagem. Que vantagens seriam essas? A madeira de Pinho comparativamente com a espécie *standard* do mercado Europeu que é o Espruce, tem a vantagem de ser mais durável, tem a vantagem de ser mais densa e por ser mais densa tem melhorias em termos de capacidade estrutural, ou seja o Pinho alcança classes de resistência superiores. Portanto estes são três aspectos que a diferenciam de forma positiva da espécie *standard* que é o Espruce. Claro que sim.

**3 - A última questão já foi parcialmente respondida na primeira. Que tipo de processo de colaboração e metodologia de trabalho deve ser seguido pelos Arquitectos nos processos de projecto de construções com estruturas de madeira?**

A intervenção do Arquitecto no projecto é uma intervenção decisiva porque o primeiro contacto de um técnico com o cliente final é realizado por um Arquitecto. Sendo o Arquitecto o responsável pela gestão do processo seria importante que tivesse uma sensibilidade mais positiva para a utilização da madeira na construção em geral e nas estruturas em particular.

Será que tem esta sensibilidade? Acho que não pelas razões que já apontei antes. Uma vez que o Arquitecto não tem formação em estruturas de madeira, tem também mais dificuldade em propor e justificar ao cliente a utilização de uma tecnologia relativamente à qual o cliente vai colocar imensas questões e dúvidas, a respeito da durabilidade, da resistência ao fogo, da capacidade estrutural e do custo. São um conjunto de dúvidas que o cliente final vai colocar. O cliente da moradia que é tipicamente um cliente mais desinformado, será ainda mais difícil de esclarecer quando os próprios técnicos não estão seguros sobre o conhecimento que têm dos sistemas inovadores.

*- A outra questão é relativamente ao processo. Eu sei que tem a ideia que o processo de projecto do ponto de vista do Arquitecto não deve ser muito diferente daquele que é o processo das estruturas em betão armado, mas há uma diferença nas estruturas de madeira. Aqui lida-se com processos industriais com regras próprias e com componentes pré fabricados. O processo de projecto a que o Arquitecto está habituado não contempla o diálogo com o fabricante e a integração de sistemas com regras tão específicas como na construção em madeira.*

Essa diferença existe pela razão que referi antes. Na Escola não tivemos essa formação e quando se fornece uma proposta de preço, este tem que ser muito esmagado devido à elevada competitividade do mercado. As margens com que as empresas trabalham são reduzidas e não permitem que os técnicos estudem e aprendam. Se damos um preço para executar um trabalho em dois dias, não podemos perder três dias a estudar. Quando o técnico não sabe lidar com um problema deveria ir estudar, aprender, mas na maior parte dos casos tal não acontece porque não tem tempo e não é pago para isso. As empresas não têm margem para apostar na aprendizagem.

No caso da minha empresa, por uma questão de princípio não negamos novos desafios com novas tecnologias e até os encaramos com satisfação, mas acarretamos com as dificuldades e com a incapacidade financeira para os concretizar. Quanto há ideia de que a construção em madeira tem regras próprias que não são dominadas pelos técnicos, é verdade, mas é verdade nas estruturas e em todas as outras especialidades. As estruturas talvez seja a especialidade que salta mais à vista, mas nos projectos de instalações prediais, também não se sabe em geral onde é que devem passar as instalações.

*- Mas cada sistema tem as suas regras próprias. No sector da madeira o mesmo sistema construtivo tem variações de fabricante para fabricante.*

Mas no betão armado também há muitas variações, nas alvenarias também existe um pouco disso. Mas se disser que nas alvenarias é “meia bola e força: parte tijolo aqui, parte tijolo ali...”, na madeira também pode “partir”, mas provavelmente como a madeira, como é uma tecnologia que não se conhece e não é familiar, tem-se mais receio de “partir”. Tem-se mais receio de fazer os trabalhos.

*- É uma questão de segurança...*

Mas na alvenaria também deveria haver maior preocupação. Podemos não falar de segurança estrutural, mas se nos referirmos ao conforto térmico e à componente energética deveria haver um maior cuidado quando se esventra uma parede de alvenaria sem grandes preocupações. No entanto fazem-se os roços sem preocupações porque sempre se fez assim sem se considerar que se está a criar um ponto fraco no comportamento térmico das paredes.

É verdade que na construção em madeira existem regras por exemplo para a passagem das infraestruturas [nomeadamente no sistema de painéis lamelados cruzados colados]. Acontece que na madeira devido a essas regras, os pressupostos de projecto e o detalhe permitem que uma casa de madeira tenha a mesma longevidade que uma construção tradicional. Eu acho mesmo que uma casa de madeira pode ter uma longevidade maior se forem respeitados todos os pressupostos de projecto.

Os outros materiais têm regras diferentes, mas também há uma maior aceitação das patologias que ocorrem nos materiais correntes do que em relação à construção em madeira. Quando um cliente verifica que existe um componente de madeira com uma descoloração ou com um tom acinzentado, pensa e diz que esse componente está estragado, ou que está com fungos, mas quando se depara com uma alvenaria fissurada considera que é normal. Há um nível superior de tolerância na construção tradicional do que na construção em madeira, mas eu até vejo isso como uma vantagem.

É uma vantagem obrigar a construção em madeira a um nível de pormenorização que faça elevar o nível de qualidade da construção e o padrão de qualidade da habitação. Só assim é que se consegue de facto garantir um nível de durabilidade pelo menos idêntico ao da construção tradicional (embora eu creia que o nível de qualidade da construção em madeira é superior). Com a construção em painéis lamelados cruzados colados tem-se uma ocorrência de patologias muitíssimo inferior à que se tem na construção tradicional. Esta é a minha convicção com base na experiência que tenho.

*- Ainda dentro desta questão, qual é a sugestão que faz a um Arquitecto que quer apostar na construção em madeira.*

- Eu acho que tem que se assessorar de uma equipa técnica com competência na área. Onde está essa equipa técnica?... Desde logo nas empresas. Falo nas empresas que fornecem a tecnologia, mas também pode haver competência técnica no aplicador ou nas universidades.

*- Mas a chave de tudo acabam por ser as próprias empresas fabricantes?*

- Claro que sim, mas é assim com as caixilharias, com as instalações mecânicas, etc. Aí a oferta é maior e o conhecimento do meio técnico também... Mas depois é muito importante contextualizar esse *know-how* adaptando-o à realidade portuguesa. Os aplicadores, os restantes materiais e a sua compatibilidade, o clima e a integração com os outros sistemas. Os sistemas têm que ser pensados de forma integrada. Por exemplo com a construção em painéis de lamelados cruzados numa moradia temos em Portugal uma parede exterior com 16cm ou 17cm onde não conseguimos colocar uma caixa de estore. Se o sistema não permite uma solução à qual estamos habituados temos de encontrar uma alternativa. Se falarmos com o fabricante (no caso de ser estrangeiro) ele não considera este problema um problema importante porque no seu país onde o sistema está divulgado, as paredes têm 20cm ou 30cm porque têm o triplo ou o quádruplo do isolamento térmico que nos é exigido. A tecnologia tem que ser adaptada e contextualizada à nossa realidade. Em termos de durabilidade é exactamente a mesma coisa, os pressupostos em Portugal serão diferentes.

#### 4.2.2.4 SÍNTESE DAS ENTREVISTAS

Com base na informação recolhida nas três entrevistas efectuadas é possível sintetizar as respostas às três questões colocadas através da recolha das ideias principais de cada um dos entrevistados, que acabam por se complementar.

Sobre a dinâmica do mercado das casas de madeira foi possível verificar que todos os entrevistados confirmam que se assiste agora (Setembro de 2015) a uma retoma no mercado da construção. A perspectiva de futuro do sector é positiva uma vez que correspondendo este a um nicho de mercado, terá uma maior margem de crescimento. O crescimento deverá ser sustentado por um maior conhecimento dos técnicos, com uma incidência no ensino da construção em madeira nas faculdades de Arquitectura e Engenharia e também pela consolidação da regulamentação nacional ao nível das estruturas de madeira. O mercado das casas de madeira poderá crescer em grande medida devido às suas vantagens ambientais, mas também poderá haver um argumento associado à qualidade das casas de madeira devido à grande exigência que é colocada no seu projecto e construção.

A inovação dos sistemas construtivos e a maior informação das pessoas poderão conduzir a que haja uma alteração da percepção da construção em madeira, que era antes associada a construções de baixo nível de qualidade, e que poderão passar a ser vistas como construções de alta qualidade devido ao escrutínio a que são submetidas.

A floresta Nacional e a possível utilização do Pinho bravo em estruturas acaba por ser um tema que reúne o consenso quanto ao interesse da sua utilização do ponto de vista económico, ambiental e até de marketing. As potencialidades do Pinho nacional são reconhecidas, com vantagens a nível de comportamento estrutural, mas as condições actuais da floresta, das serrações e a dimensão reduzida do mercado formam um entrave à sua utilização por parte das empresas. As empresas utilizam com vantagens espécies de madeira provenientes de outros países (países nórdicos, América do norte e Brasil) não equacionando actualmente o uso de Pinho nacional, a não ser para elementos secundários com reduzido significado na construção.

É generalizada a ideia de que há um ciclo que não consegue ser ultrapassado. Entende-se que a reduzida dimensão do mercado nacional, a ligação da floresta à indústria de celulose, a eficácia dos fornecedores internacionais, as características das nossas serrações e a limitação das normas de classificação nacionais, contribuem para um panorama pessimista.

Finalmente, quanto à colaboração dos Arquitectos com as empresas e o método a adoptar nessa colaboração, fica patente nas várias opiniões a falta de formação dos Arquitectos e dos Engenheiros nacionais. Adicionalmente, critica-se a formação do Arquitecto nacional marcada por uma forte componente artística que colide com o pragmatismo necessário a uma visão comercial em que a satisfação do cliente é um requisito importante. No entanto é também consensual que a intervenção do Arquitecto está em geral associada a trabalhos com maior qualidade do ponto de vista estético. Essa mais valia conduz porém a um aumento dos custos de construção e por esse motivo, muitas vezes os clientes refugiam-se no processo de escolha oferecido pelas empresas com base nos catálogos de projectos.

Os catálogos funcionam como referenciais importantes para os clientes, ao mesmo tempo que permitem uma redução dos custos envolvidos. No entanto as empresas estão preparadas para adaptar os projectos de catálogo às necessidades do cliente e para desenvolver projectos personalizados. Do ponto de vista das empresas, exige-se um Arquitecto mais conhecedor da construção em madeira, que saiba ouvir e que seja mais pragmático.

## 5 CASO DE ESTUDO

O objectivo deste capítulo consiste em definir um caso de estudo com base no projecto de uma habitação unifamiliar que permitirá simular a integração arquitectónica de diferentes sistemas estruturais. O caso de estudo servirá também para testar a aplicação dos conceitos tipológicos definidos no capítulo 2. No âmbito da presente investigação este caso de estudo enquadra-se na ideia de “prática reflexiva” (Lawson, 2005, p. 299) que tem duas vertentes: a reflexão em acção e a reflexão sobre a acção. A primeira será a prática de reflexão continuada que o projectista realiza sobre o seu trabalho, sobre o problema formulado e sobre a solução ou as soluções propostas. A reflexão sobre a acção consiste num processo monitorizado em que os procedimentos são questionados e onde se reflecte sobre outras vias de os abordar. Ambos os processos permitem a partir de um caso particular de projecto, identificar e generalizar princípios e procedimentos.

O objectivo fundamental do caso de estudo será então a obtenção de uma experiência que permita definir regras e princípios a integrar na proposta de método de apoio ao projecto de Arquitectura de habitações unifamiliares. A definição do caso de estudo partiu de uma análise estatística das características das habitações unifamiliares em Portugal para evitar que o projecto escolhido fosse o resultado de uma opção arbitrária. Assim, pretendeu-se com base nos dados disponibilizados pelo INE encontrar um tipo funcional e espacial representativo das habitações unifamiliares que se têm projectado nos últimos anos no panorama nacional.

O projecto foi desenvolvido até ao nível do estudo prévio, contemplando todas as características necessárias à definição de um sistema formal, ou seja, os aspectos funcionais, espaciais e simbólicos. Com base nesse projecto, foram testados consecutivamente os quatro sistemas estruturais considerados mais representativos, de modo a permitir uma generalização dos procedimentos a adoptar. Esta fase corresponde também a uma aplicação dos princípios e informações obtidos no capítulo 3 (Descrição dos principais sistemas construtivos) onde foram descritos os sistemas de reticulados, de porticados, de paredes pesadas de toros e de painéis pesados de lamelados cruzados colados.

Para além das características funcionais obtidas a partir da análise da informação estatística, a definição do caso de estudo teve em conta factores e condicionantes propostos pelo próprio autor desta tese, que neste caso representa simultaneamente o projectista e o cliente.

Como factores condicionantes mais importantes referem-se os seguintes:

a) A moradia destina-se a um lote num terreno existente e para o qual o autor já tinha realizado um estudo prévio no âmbito da sua actividade profissional; b) o tipo funcional e espacial deve ser definido tendo em conta os regulamentos nacionais e as recomendações de estudos recentes sobre os programas habitacionais; c) o tipo espacial deve ser racionalizado quanto à geometria e volumetria, não se pretendendo uma proposta muito singularizada pela forma; d) o tipo espacial deve poder ser alvo de ampliações no futuro, de modo a permitir acomodar as evoluções familiares ou a alteração eventual dos habitantes. Deve haver por isso um estudo da evolutividade do projecto; e) o tipo espacial deve ter em conta a optimização do conforto e dos consumos energéticos através da forma e da disposição dos compartimentos em relação à orientação solar; f) as referências a ter em consideração na concepção arquitectónica deverão seguir os conceitos tipológicos desenvolvidos no capítulo 2, nomeadamente quanto aos tipos simbólicos e tipos estruturais.

## 5.1 DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

### 5.1.1 A Habitação unifamiliar em Portugal

A concepção do projecto de habitação unifamiliar destinado ao caso de estudo de aplicação dos diversos sistemas construtivos pressupõe a utilização de uma tipologia funcional representativa do mercado nacional. Não teria sentido utilizar um modelo escolhido aleatoriamente pelo que o programa habitacional terá por base as informações que conduzam à definição do tipo de habitação unifamiliar mais procurado e concretizado pelas famílias Portuguesas nos últimos anos.

#### 5.1.1.1 CONCEITOS

Uma vez que o tema da habitação é aqui abordado na perspectiva da informação estatística, assumiram-se os seguintes conceitos:

**Moradia** - *“Edifício de habitação familiar, em que a maior parte da sua área útil é ocupada com um ou dois fogos, todos com entrada principal a dar, geralmente, para uma rua ou para um terreno circundante ao edifício”* (INE, 2002, p. 93). É necessário referir que para efeitos do presente estudo, restringiu-se o conceito de “moradia” a edifícios de habitação unifamiliar ocupados com apenas um fogo. Esta restrição é importante para que os dados obtidos possam culminar com a descrição do tipo dominante, singularizando cada uma das variáveis: por exemplo, moradia com um fogo, com x quartos, com y pisos acima da cota de soleira e z pisos abaixo da cota de soleira. Deve-se referir que se identificou que o tipo de moradia de dois fogos, correspondente a tipos de habitação geminada ou de dois pisos diferenciados, é residual e Portugal.

**Área total de construção** - *“É o valor expresso em m<sup>2</sup>, resultante do somatório das áreas de todos os pavimentos (pisos), acima e abaixo do solo, medidas pelo extrados das paredes exteriores com exclusão de: sótãos não habitáveis; áreas destinadas a estacionamento; áreas técnicas (PT, central térmica, compartimento de recolha de lixo, etc.); terraços, varandas e alpendres; galerias exteriores, arruamentos e outros espaços livres de uso público cobertos pela edificação. O conceito de área de construção pode ser aplicado exclusivamente a um uso específico, designadamente: a) Área de construção de comércio; b) Área de construção de serviços; c) **Área de construção de habitação**; d) Área de construção de indústria ou armazéns”* (INE, 2002, p. 77).

**Área habitável do fogo (Ah)** - *“É a soma das áreas dos compartimentos da habitação, com excepção de vestíbulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos e outros compartimentos de função similar, e mede-se pelo perímetro interior das paredes que limitam o fogo, descontando encalços até 30 cm, paredes interiores, divisórias e condutas”*. (INE, 2002, p. 78).

**Divisão** - *“Espaço num alojamento/fogo, delimitado por paredes tendo pelo menos 4 m<sup>2</sup> de área e 2 metros de altura, na sua maior parte. Embora possam satisfazer as condições de definição não são considerados como tal: corredores, varandas, marquises, casas de banho, despensas e vestíbulos e a cozinha se tiver menos de 4 m<sup>2</sup>”* (INE, 2002, p. 80).

#### 5.1.1.2 Dados utilizados

As informações de apoio ao estudo da habitação unifamiliar em Portugal foram recolhidas directamente no Instituto Nacional de Estatística que em 2012 disponibilizou o acesso ao

ficheiro de micro-dados<sup>281</sup> para apuramento dos resultados pretendidos. Para além desse ficheiro, cujos dados cobriam os anos de 2002 a 2011, foram também consultadas as estatísticas públicas do INE disponíveis no seu sítio da Internet.

Uma vez que o objectivo da recolha de dados consistia em apurar as características médias do projecto de habitação unifamiliar mais recorrente em Portugal, optou-se por utilizar os dados referentes ao licenciamento e não os dados referentes à construção. Os dados referentes ao licenciamento têm as seguintes vantagens:

1 - Revelam as “intenções de construir”. Portanto, demonstram que foi realizado um projecto, ainda que em alguns casos a respectiva construção não se tenha efectuado.

2 - Os dados do licenciamento permitem obter uma visão do mercado mais actualizada. Enquanto estes são recolhidos no momento da emissão do alvará de construção, os dados da construção são emitidos apenas no momento da emissão do alvará da licença de utilização, o que ocorre em média mais de dois anos após a realização do projecto.

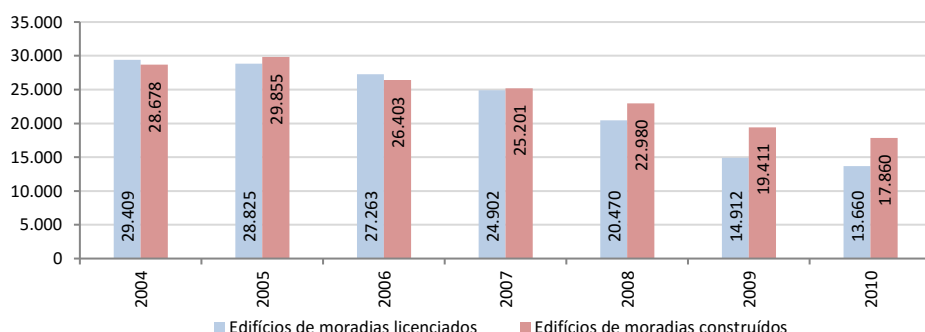


Fig. 340 - Relação entre moradias licenciadas de construção nova e o número de moradias (INE, 2012).

O gráfico da Figura 340 permite observar a relação entre os números dos licenciamentos e das construções de moradias. A diferença entre moradias licenciadas e moradias construídas entre 2004 e 2007 foi muito pouco significativa, verificando-se a partir de 2008 uma tendência para um aumento dessa diferença devido à diminuição das intenções de construir para menos de metade entre esse período.

#### 5.1.1.3 A HABITAÇÃO UNIFAMILIAR

A importância das moradias no parque habitacional nacional pode ser verificada através da relação entre estas e o número total de edifícios. Em Portugal, em 2010 o número de edifícios de “habitação familiar” licenciados de construção nova foi 76,79% do número total de edifícios licenciados de construção (cf. Figura 341). Em 1995 registou-se uma percentagem de 78,82%, tendo-se verificado uma tendência de crescimento entre esse ano e 2000. Em 2000 atingiu-se o valor de 84,95%, mas a partir daí a tendência tem sido no sentido inverso.

Em 2010 foram licenciados 14.797 edifícios de habitação familiar de construção nova relativamente a um total de 19.270 edifícios de construção nova. De 1995 a 1999, verificou-se um crescimento dos licenciamentos, registando-se nestes anos, respectivamente 32.095 e 45.595 edifícios de habitação licenciados. A partir de 1999 a tendência tem sido sempre de diminuição (cf. Figura 341).

<sup>281</sup> O acesso aos micro-dados foi possível após consulta dos serviços do INE ao seu Departamento Jurídico que autorizou o fornecimento de um CD, uma vez que se os dados se destinavam a uma investigação em curso apoiada pela FCT.



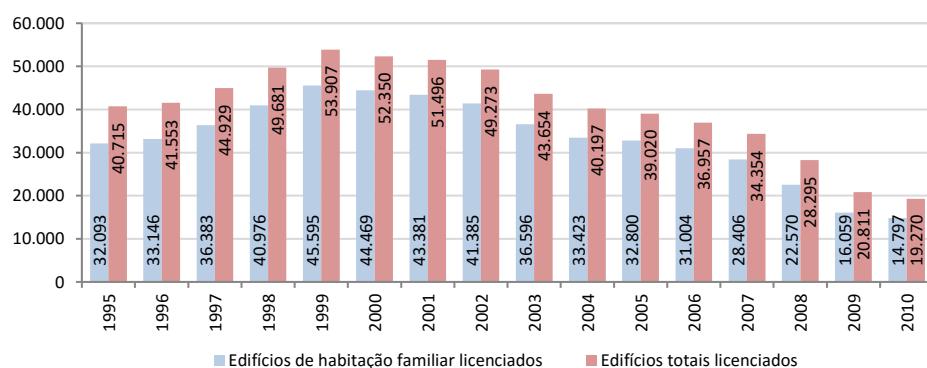


Fig. 341 - Relação entre edifícios de habitação licenciados de construção nova e o número total de edifícios licenciados (INE, 2012).

Em Portugal a relação entre edifícios de habitação de construção nova concluídos e o número total de edifícios de construção nova concluídos foi de 81,92% em 2010 (cf. Figura 342). Apesar de se manter uma percentagem elevada nesta relação, esta tem vindo a descer desde 2002, altura em que atingiu o valor de 85,94%. A tendência entre 1995 (altura em que se atingiu um valor de 77,40%) e 2000 tinha sido a inversa.

Em 2010 foram concluídos 20.082 edifícios de habitação familiar de construção nova relativamente a um total de 24.515 edifícios de construção nova (cf. Figura 342). De 1995 a 2002, verificou-se um crescimento dos edifícios concluídos, registando-se nestes anos a conclusão de 28.855 e 46.574 edifícios de habitação, respectivamente. A partir de 2002 a tendência tem sido sempre de diminuição.

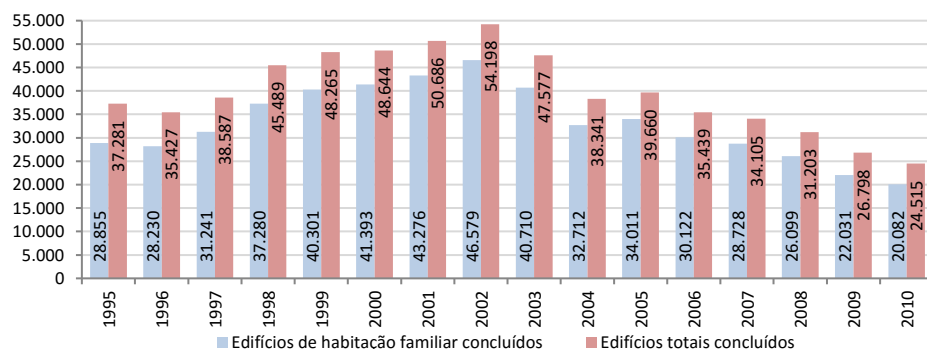


Fig. 342 - Relação entre edifícios de habitação concluídos de construção nova e o número total de edifícios concluídos (INE, 2012).

No universo dos edifícios em construção nova, o peso da habitação unifamiliar é muito forte. Verifica-se que em 2010, 92,38% dos edifícios de habitação familiar licenciados eram moradias (cf. Figura 343). Analisando os dados da relação entre moradias e outros edifícios de habitação efectivamente construídos, verifica-se também um peso muito grande das primeiras, embora numa percentagem ligeiramente mais baixa. No mesmo ano de 2010, as moradias construídas representaram 88,97% do total de edifícios de habitação familiar construídos. Verifica-se que desde 2004 até 2010, a relação entre moradias e edifícios de apartamentos licenciadas e construídas tem vindo a crescer com vantagem para as moradias.

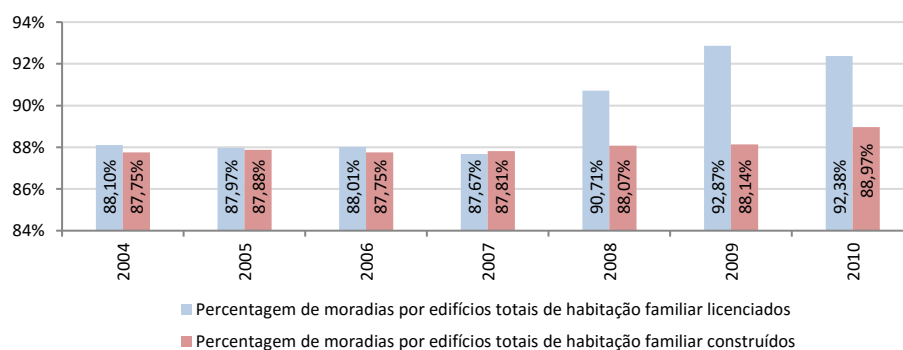


Fig. 343 - Relação entre as percentagens de moradias de construção nova e o número total de edifícios de habitação familiar (edifícios licenciados e construídos) (INE, 2012).

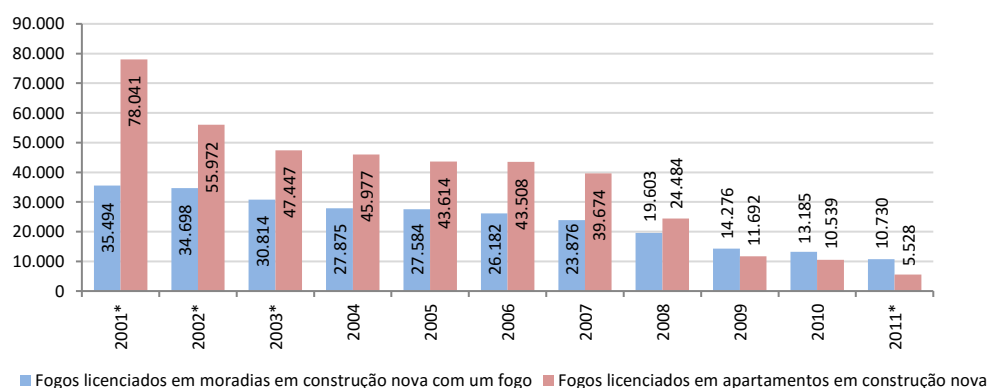


Fig. 344 - Fogos licenciados em moradias em construção nova c/ 1 fogo e Fogos licenciados em apartamentos em construção nova (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

O número de fogos em moradias e em edifícios de apartamentos fornecerá ainda outra medida de comparação alternativa (cf. Figura 344). Assim, recorrendo ao apuramento da base de dados do SIOU (Sistema de Informação das Operações Urbanísticas) no período temporal de 2001 a 2011 e assumindo um conceito de moradia mais restritivo que o considerado pelo INE (moradias de um só fogo), observa-se que em 2011 se licenciaram 10.730 fogos em moradias com um fogo<sup>282</sup> contra 5.528 fogos em apartamentos. Os fogos licenciados em moradias com um fogo representaram 66% do total de edifícios de apartamentos e de moradias com um fogo em 2011 quando em 2001 representaram apenas 31,26% (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

Recorrendo à mesma base de dados procedeu-se à desagregação dos seguintes dados: “tipo de edifícios: moradia”; “destino da obra: habitação familiar”; “tipo de obra: construção nova”; “total de fogos: 1 (um)”.

No passo seguinte compararam-se o número de fogos de cada tipologia (de T0 a T5+) e apurou-se a tipologia com mais ocorrências em cada ano. Concluiu-se que entre 2002 e 2011, a tipologia com mais ocorrências nas moradias de habitação familiar em construção nova e com um fogo, foi sempre o T3 (cf. Figura 345).

<sup>282</sup> As moradias licenciadas com dois fogos foram 832 no ano de 2011.

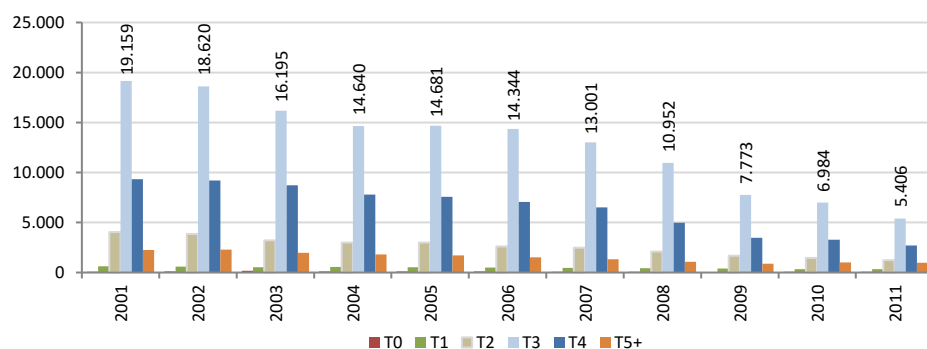


Fig. 345 - Número de fogos (em moradias) por tipologia (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

Verifica-se que a percentagem de fogos T3 em moradias em relação ao total dos fogos em moradias tem sido desde 2001 superior a 50% (cf. Figura 346). Em 2011 a percentagem de moradias com um fogo T3 em relação ao total de moradias com um fogo foi 50,38%. O ano de 2011 foi aquele que desde 2001 apresentou a menor percentagem, tendo o seu valor máximo ocorrido em 2008 com 55,87%. A tipologia que surge em segundo lugar ao longo desses anos é o T4, com 25,32% do total de moradias com um fogo em 2011. Em valores absolutos, em 2011, licenciaram-se 5.406 moradias T3, 2.717 moradias T4 e 1.222 moradias T2 num total de 10.730 moradias de um fogo (cf. Figura 345).

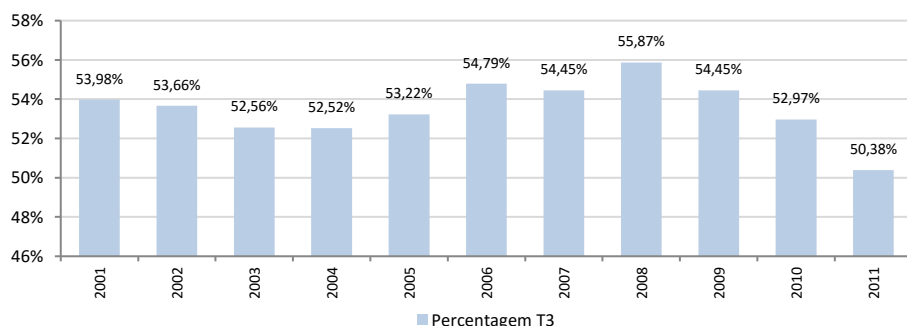


Fig. 346 - Percentagem de Moradias T3 com 1 fogo em relação ao total de moradias com um fogo (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

Uma vez seleccionadas as moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3, considerou-se como característica mais relevante na definição da moradia, o n.º de pisos acima da cota de soleira. Assim, verificou-se para todos os anos entre 2002 e 2011 que a moradia que registou mais ocorrências foi a de dois pisos acima da cota de soleira (cf. Figura 347).

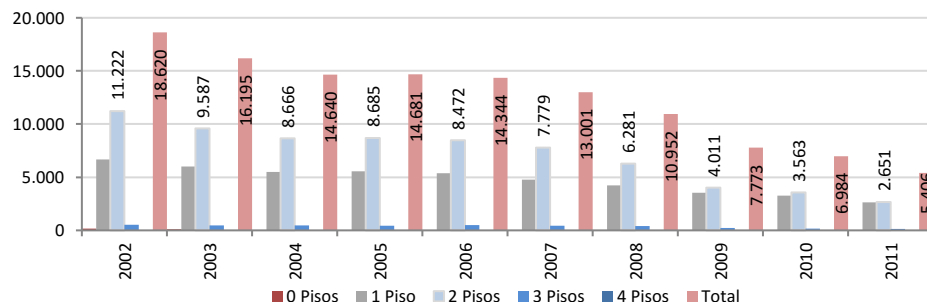


Fig. 347 - Número de moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3, por número de pisos acima da cota de soleira (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

Para encontrar os valores do número de pisos abaixo da cota de soleira, seleccionaram-se depois as moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3 e dois pisos acima da cota de soleira. Verificou-se para todos os anos entre 2002 e 2011 que a

moradia T3 de dois pisos acima da cota de soleira que registava mais ocorrências era a moradia com 0 pisos abaixo da cota de soleira, seguida pela moradia com 1 piso abaixo da cota de soleira (cf. Figura 348).

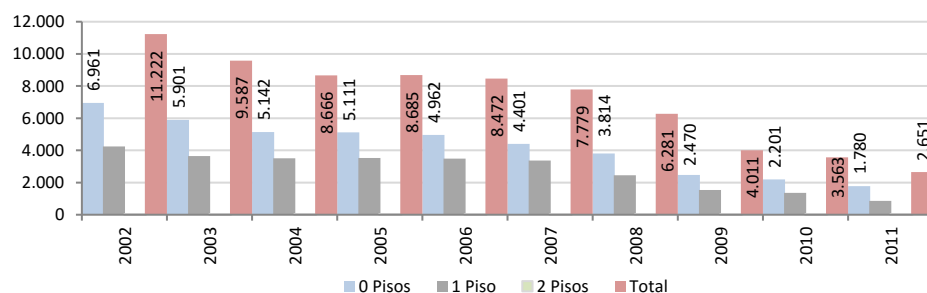


Fig. 348 - Número de moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3 com 2 pisos acima da cota de soleira, por número de pisos abaixo da cota de soleira (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

A moradia com mais ocorrências, o T3, com 2 pisos e sem cave, no ano de 2011 representou 16,59% de todas as moradias com um fogo. Em 2011, o conjunto das moradias T3 com 2 pisos acima da cota de soleira, com 0 pisos abaixo da cota de soleira e com 1 piso abaixo da cota de soleira representaram 24,68% das moradias com um fogo (cf. Figura 349).

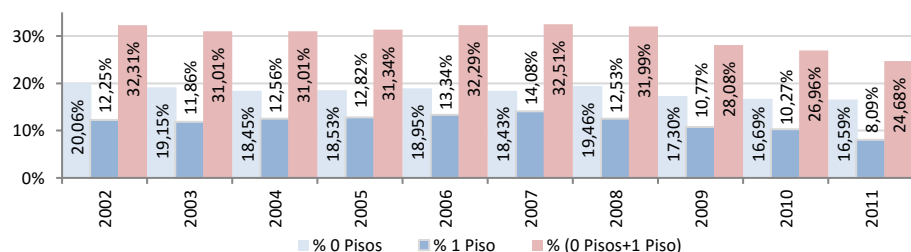


Fig. 349 - Percentagens de moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3 com 2 pisos acima da cota de soleira, com 0 ou 1 pisos abaixo da cota de soleira em relação ao número total de moradias com um fogo (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

Encontrado o tipo de moradia com mais ocorrências, foi considerado importante verificar até que ponto outros tipos de moradias se aproximaram mais dos números obtidos pela moradia T3, com 2 pisos e sem cave (cf. Tabela 49). Verificou-se que apesar da referida moradia dominante recolher o maior número de ocorrências no período entre 2002 a 2011, o segundo lugar que em 2002 era claramente atribuído à moradia T3 com 2 pisos e uma cave, passou em 2011 a ser da moradia T3 com 1 piso e sem cave. Verifica-se, em conclusão, uma tendência para uma cada vez maior aproximação entre as ocorrências dos diferentes tipos de moradia, não se podendo dizer que há um tipo específico de moradia substancialmente superior aos restantes.

Tabela 49 - Licenciamento de moradias de um fogo para construção nova.

Licenciamento - Moradia, Construção Nova, 1 Fogo										
	T3 2Pacs* +0cv	T3 2Pacs* +1cv	T3 2Pacs TOT.	T3 1Pacs* +0cv	T3 1Pacs* +1cv	T3 1Pacs TOT.	T4 2Pacs* +0cv	T4 2Pacs* +1cv	T4 2Pacs* TOT.	Total moradias 1 fogo
2002	6.961	4.250	11.211	3.465	3.122	6.587	3.698	3.431	7.129	34.698
2003	5.901	3.655	9.556	3.102	2.826	5.928	3.338	3.457	6.795	30.814
2004	5.142	3.501	8.643	2.792	2.601	5.393	3.057	3.040	6.097	27.875
2005	5.111	3.535	8.646	2.855	2.621	5.476	2.908	3.050	5.958	27.584
2006	4.962	3.493	8.455	2.840	2.475	5.315	2.657	2.752	5.409	26.182
2007	4.401	3.362	7.763	2.516	2.204	4.720	2.569	2.532	5.101	23.876
2008	3.814	2.457	6.271	2.257	1.970	4.227	1.907	1.833	3.740	19.603
2009	2.470	1.538	4.008	1.899	1.614	3.513	1.332	1.182	2.514	14.276
2010	2.201	1.354	3.555	1.847	1.380	3.227	1.221	1.037	2.258	13.185
2011	1.780	868	2.648	1.535	1.072	2.607	1.049	798	1.847	10.730
2012	527	238	765	466	334	800	296	195	491	--

\*nota: Pacs - Pisos acima da cota de soleira.

Tabela 50 - Licenciamento de moradias de um fogo para construção nova (percentagens do total de moradias).

Licenciamento - Moradia, Construção Nova, 1 Fogo										
	T3 2Pacs +0cv	T3 2Pacs +1cv	T3 2Pacs TOT.	T3 1Pacs +0cv	T3 1Pacs +1cv	T3 1Pacs TOT.	T4 2Pacs +0cv	T4 2Pacs +1cv	T4 2Pacs TOT.	Total moradias 1 fogo
2002	20,06%	12,25%	32,31%	9,99%	9,00%	18,98%	10,66%	9,89%	20,55%	71,84%
2003	19,15%	11,86%	31,01%	10,07%	9,17%	19,24%	10,83%	11,22%	22,05%	72,30%
2004	18,45%	12,56%	31,01%	10,02%	9,33%	19,35%	10,97%	10,91%	21,87%	72,23%
2005	18,53%	12,82%	31,34%	10,35%	9,50%	19,85%	10,54%	11,06%	21,60%	72,80%
2006	18,95%	13,34%	32,29%	10,85%	9,45%	20,30%	10,15%	10,51%	20,66%	73,25%
2007	18,43%	14,08%	32,51%	10,54%	9,23%	19,77%	10,76%	10,60%	21,36%	73,65%
2008	19,46%	12,53%	31,99%	11,51%	10,05%	21,56%	9,73%	9,35%	19,08%	72,63%
2009	17,30%	10,77%	28,08%	13,30%	11,31%	24,61%	9,33%	8,28%	17,61%	70,29%
2010	16,69%	10,27%	26,96%	14,01%	10,47%	24,47%	9,26%	7,86%	17,13%	68,56%
2011	16,59%	8,09%	24,68%	14,31%	9,99%	24,30%	9,78%	7,44%	17,21%	66,19%
2012	15,79%	7,13%	22,92%	13,96%	10,01%	23,97%	8,87%	5,84%	14,71%	61,59%

\* nota: Pacs - Pisos acima da cota de soleira.

Tendo como referência o ano de 2011 (cf. Tabela 49), podem-se seleccionar e classificar por ordem de importância os seguintes tipos de moradia:

1) Moradia T3 com 2 pisos, sem cave com 1.780 ocorrências; 2) Moradia T3 com 1 piso, sem cave, com 1.535 ocorrências; 3) Moradia T3 com 1 piso, com cave, com 1.072 ocorrências; 4) Moradia T4 com 2 pisos, sem cave, com 1.049 ocorrências; 5) Moradia T3 com 2 pisos e cave, com 868 ocorrências; 6) Moradia T4 com 2 pisos com cave, com 798 ocorrências.

No ano de 2011 os seis tipos assim definidos representaram 66,19% das moradias totais licenciadas com um fogo, porém a representatividade destes tipos no seu conjunto tem vindo a descer desde 2007, altura em que representavam 73,65% (cf. Figura 350).

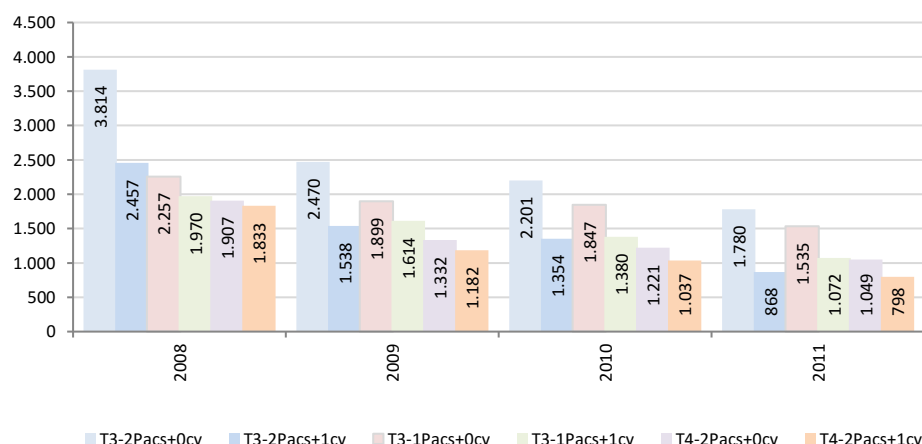


Fig. 350 - Número de moradias de um fogo, por tipologia, número de pisos acima da cota de soleira e número de pisos abaixo da cota de soleira licenciamento para construção nova (INE, Base de dados: SIOU, 2012).

Apesar da diversidade encontrada, conclui-se que a moradia com mais ocorrências é a moradia T3, com 2 pisos e sem cave (cf. Figura 350), devendo de seguida determinar-se as características essenciais desta moradia (cf. Tabela 51) em termos de: área de habitação, área total habitável, número de divisões, lugares de estacionamento coberto e área de estacionamento coberto<sup>283</sup>.

<sup>283</sup> "A área de habitação (Média Bruta)" deverá corresponder ao conceito de "Área bruta do fogo" (conceito INE: 2894), ou seja: "Superfície total do fogo, medida pelo perímetro exterior ou extradorso das paredes exteriores e pelos eixos das paredes separadoras dos fogos. Inclui varandas privativas, locais acessórios e a quota-parte que lhe corresponda nas circulações comuns do edifício. Notas: As áreas brutas dos fogos terão os seguintes valores mínimos: T0=35; T1=52; T2=72; T3=91; T4=105; T5=122; T6=134; Tx>6 = 1,6 X (Área habitável). Área bruta expressa em metros quadrados.", mas exclui estacionamento. Não corresponderá portanto ao conceito INE:3265 "Área bruta de construção", ou seja: "Valor (m2), resultante do somatório das áreas de todos os pavimentos (pisos), acima e abaixo do solo, medidas pelo extradorso das paredes exteriores com a exclusão de: sótãos não habitáveis; áreas destinadas a estacionamento; áreas técnicas (PT, central

Tabela 51 - Número moradias de 1 fogo T3 com 2 pisos, por áreas da Habitação (áreas em m2).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Nº Fogos T3, 2 pisos, s/ cave	6.961	5.901	5.142	5.111	4.962	4.401	3.814	2.470	2.201	1.780
Área Total Média	230,46	232,48	235,24	232,83	235,48	236,25	239,34	248,26	245,85	243,87
Área Habitação (Média Bruta)	225,03	225,39	226,85	224,11	225,98	226,95	229,06	233,46	232,06	228,42
Área Total Habitável (Média)	103,81	106,74	109,39	109,61	109,63	112,16	113,42	114,78	112,44	112,31
Nº Divisões Média <sup>264</sup>	5,45	5,47	5,40	5,39	5,31	5,31	5,29	5,32	5,27	5,25
Estacion. privado coberto Lugares Média	0,52	0,67	0,63	0,83	0,66	0,59	0,62	0,61	0,69	0,66
Estacion. privado coberto Área Média	12,00	35,52	16,60	13,56	13,43	12,44	14,81	13,46	13,79	14,64

## 5.1.1.4 ACTUALIZAÇÃO DE DADOS

Uma vez que a consulta dos dados estatísticos foi efectuada em 2012, a informação encontra-se naturalmente desactualizada. Há a salientar que o número de moradias licenciadas entre 2011 e 2014 (cf. Tabela 52), foi reduzido de 10.877 para cerca 4.878, representando uma queda de cerca de 55%.

Tabela 52 - Actualização dos dados gerais referentes a construções novas para habitação licenciadas e construídas para edifícios de apartamentos, fogos totais e moradias (INE, Base de dados, 2015).

Período de referência dados	Construções novas para habitação Licenciadas			Construções novas para habitação Construídas		
	Edifícios de apartamentos	Fogos totais	Moradias	Edifícios de apartamentos	Fogos totais	Moradias
	n.º	n.º	n.º	n.º	n.º	n.º
2014	350	6785	4878	622	10319	5593
2013	342	7321	5299	1113	19060	9982
2012	781	11374	7602	1212	27746	13500
2011	1102	17432	10877	1122	25807	13934

## 5.1.2 Definições para o programa preliminar

## 5.1.2.1 CONTEXTO

## Contexto físico

O lote escolhido para implantar a solução do caso de estudo é um terreno localizado em Sesimbra com uma área de 1.170m<sup>2</sup>. A envolvente do lote é uma urbanização resultante de um loteamento para habitações unifamiliares, próximas de um edifício escolar.

O clima é o correspondente à região da Península de Setúbal segundo a NUTS III e segundo os “Parâmetros para o zonamento climático” definidos no Despacho n.º 15793-F/2013 (Portugal, 2013) a em causa zona é a “I1-V3”. Esta zona correspondia no anterior regulamento à zona “I1-V2” (alguns concelhos do Centro, Litoral e Sul do Algarve). Neste contexto a influência marítima tem um efeito suavizador, devendo no Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima verificar-se menores amplitudes térmicas diárias que noutras regiões. No entanto o Verão deve merecer um cuidado maior por parte dos projectistas que o Inverno. No Inverno as estratégias de aquecimento e arrefecimento a considerar são a promoção de ganhos solares, a restrição de perdas por condução, e a promoção de uma inércia forte. No Verão devem-se restringir os ganhos solares e os ganhos por condução, deve-se promover a ventilação e a inércia forte.

Nesta zona os ventos dominantes são provenientes do quadrante norte e noroeste. Está prevista a plantação de árvores de folha caduca a sudeste. O ruído mais significativo durante o horário de aulas é proveniente do edifício escolar a Nordeste. A Sudeste o ruído tem origem no trânsito viário. A topografia do terreno é praticamente plana e a cota média do terreno é

térmica, compartimentos de recolha de lixo, etc.); terraços, varandas e alpendres; galerias exteriores, arruamentos e outros espaços livres de uso público cobertos pela edificação.

<sup>264</sup> Espaço num alojamento/fogo, delimitado por paredes tendo pelo menos 4 m<sup>2</sup> de área e 2 metros de altura, na sua maior parte. Embora possam satisfazer as condições da definição não são considerados como tal: corredores, varandas, marquises, casas de banho, despensas e vestíbulos e a cozinha se tiver menos de 4 m<sup>2</sup>.

140,00m. Os acessos não oferecem constrangimentos, são realizados preferencialmente por sudoeste, através de uma rua lateral, mas também podem ser efectuados por sudeste. O terreno, dada a sua dimensão permite a instalação de um estaleiro de obra no seu interior.

### **Contexto Cultural**

Não há uma cultura regional que possa em termos arquitectónicos ser característica do local onde o lote se encontra. A vizinhança é constituída por moradias unifamiliares que não estabelecem qualquer tipo conjunto coeso ou harmónico. Não há sistemas de vistas interessantes a destacar. Do ponto de vista do Arquitecto/cliente, a habitação a projectar deverá seguir uma abordagem contemporânea.

Existem empresas de construção em madeira localizadas a menos de 50 Km. Para este estudo, devido a factores como a disponibilidade e o tipo de oferta (cobertura dos sistemas construtivos pretendidos) foram seleccionadas empresas localizadas entre 460 Km e 160 Km.

#### **5.1.2.2 CLIENTE**

### **Exigências de uso**

A habitação unifamiliar destina-se a uma família média portuguesa: um casal com dois filhos. A evolução familiar previsível será constituída pela sucessão das fases usuais, tendo início na coabitação entre pais e filhos, seguida do abandono do lar pelos filhos com a consequente mudança da utilização da habitação quase em exclusivo para o piso inferior. Por esse motivo, deverá haver uma certa flexibilidade ou adaptabilidade conferida pela possibilidade de alterar os compartimentos localizados a sul, remetendo em contrapartida os compartimentos fixos (IS, cozinhas e escadas) para as zonas interiores e norte da moradia.

O cenário de evolução familiar pode no entanto contemplar outras possibilidades como por exemplo a mudança de todos os membros da família para outro local e o arrendamento da moradia que deve poder ser ampliada de modo a integrar mais quartos. Pode prever-se ainda um cenário alternativo de aumento do agregado familiar, por exemplo através do nascimento de mais filhos ou através do acolhimento de parentes idosos, com a consequente necessidade de ampliar também a área da moradia para integrar mais espaços privados.

Embora o tipo funcional que se pretende seja o correspondente a um T3, conceptualmente o projecto será definido prevendo uma solução evolutiva a partir de um núcleo base T0 até uma moradia T5 de dois pisos com possibilidade de utilização do espaço sob a cobertura. Assim, a moradia T3 poderá ser facilmente ampliável com mais um ou dois quartos e uma instalação sanitária adicional, para uma moradia T4 ou um T5.

Do ponto de vista urbano deve ser prevista a possibilidade de agregação da moradia, com mais uma ou duas unidades, proporcionando formas de organização em banda. As empenas laterais poderão servir para o encosto de outras unidades formalizando-se um conjunto plurifamiliar com entradas independentes. As empenas laterais deverão por esse motivo ser consideradas cegas não exigindo a abertura de vãos para iluminação natural.

### **Outras exigências do cliente**

Do ponto de vista formal e estético pretende-se uma Arquitectura que expresse valores da contemporaneidade, um modo de vida informal e o carácter singular deve ser conferido pela utilização da madeira. Não são pretendidos dispositivos formais destinados a impressionar pela diferença, pretendendo-se uma habitação que possa acolher apreciações positivas de um público vasto. As aberturas para o exterior deverão ser contidas devido à localização do lote de terreno que confina com um arruamento a sul e sem sistemas de vistas que importem

valorizar. Por outro lado, relativamente aos acabamentos, pretende-se uma estética urbana e não rústicas devido às preferências do cliente e devido à necessidade de alguma integração com as características da envolvente que apesar de não ser especialmente qualificada integra melhor uma solução de características urbanas. A cobertura inclinada é preferível à cobertura plana e a estética da construção em madeira deve poder estar expressa através da visibilidade dos elementos estruturais e através dos revestimentos.

O orçamento disponível deve ter o limite máximo correspondente a 947 Euros / m<sup>2</sup> (Valor médio de avaliação bancária das moradias em Janeiro de 2014). Os custos previsíveis com a moradia contemplam um custo de manutenção cíclico dos revestimentos e dos elementos estruturais à vista entre três e cinco anos. A sensibilidade ambiental é um valor a ter em conta, no entanto uma vez que a moradia já contempla uma estrutura e revestimentos de madeira, este não será um factor decisivo na escolha entre diferentes hipóteses. A durabilidade da solução é um aspecto a ter em conta, no entanto as preocupações com a durabilidade não deverão comprometer as opções formais. Finalmente, o prazo de construção a considerar deve ser inferior a 6 meses.

Os regulamentos a considerar são os nacionais, não se pretendendo integrar nenhum sistema de avaliação da sustentabilidade. Do ponto de vista dos regulamentos locais, o PDM estabelece um índice de construção de 0,4 e dois pisos de volumetria.

### 5.1.3 Definições do programa base

#### 5.1.3.1 TIPO FUNCIONAL

Para a definição de um programa habitacional para uma habitação unifamiliar do tipo T3, tomaram-se como referência os programas de áreas constantes no "Programa habitacional - habitação" de Pedro (2001, p. 59), que para além de uma abordagem que tem em conta as áreas espaciais em relação com cada função que ocorre na habitação, são enquadrados pela regulamentação nacional. Assim, considerando que o caso de estudo corresponde a uma tipologia T3, adoptou-se o programa relativo a uma habitação T3 com capacidade para 6 pessoas e um nível de qualidade recomendável. Neste nível, a área útil do fogo contabiliza 96,5m<sup>2</sup> e a área bruta 118m<sup>2</sup>. No nível mínimo de qualidade a área útil do fogo seria 76m<sup>2</sup> e a área bruta 93m<sup>2</sup> (sendo a área bruta mínima da habitação segundo o RGEU 91m<sup>2</sup>). No nível óptimo de qualidade a área útil do fogo corresponde a 100,5m<sup>2</sup> (para um T3/5, uma vez que no nível óptimo não se considera um T3/6) e a área bruta do fogo corresponderá a 123m<sup>2</sup> (Pedro, 2001, pp. 58-60). O programa habitacional foi desenvolvido com base nas áreas e funções de referência descritas na Tabela 53 e dos compartimentos expostos na Tabela 54.

Tabela 53 - Áreas e funções para uma tipologia T3 com capacidade para 6 pessoas.

Dormir e descanso pessoal (casal) - 11,50m <sup>2</sup>	Lavagem de roupa - 2,00m <sup>2</sup>
Dormir e descanso pessoal (duplo) - 10,00m <sup>2</sup>	Secagem de roupa - 1,00m <sup>2</sup>
Dormir e descanso pessoal (duplo) - 10,00m <sup>2</sup>	Higiene pessoal - principal - 4,50m <sup>2</sup>
Preparação de refeições - 6,50m <sup>2</sup>	Higiene pessoal - segunda - 1,50m <sup>2</sup>
Refeições correntes (demarcado) - 3,50m <sup>2</sup>	Permanência no exterior privado - 2,50m <sup>2</sup>
Refeições formais (englobado) - 9,50m <sup>2</sup>	Circulação entrada/saída - 4,00m <sup>2</sup>
Estar/Reunir - 12,00m <sup>2</sup>	Circulação comunicação/separação - 9,00m <sup>2</sup>
Estudo e recreio de jovens (englobado), duplo - 2,50m <sup>2</sup>	Arrumação geral - 1,25m <sup>2</sup>
Estudo e recreio de jovens (englobado), duplo - 2,50m <sup>2</sup>	Arrumação de despensa - 1,25m <sup>2</sup>
Trabalho e recreio de adultos - 2,00m <sup>2</sup>	Arrumação de roupa da casa - 1,50m <sup>2</sup>

Tabela 54 - Compartimentos correspondentes ao programa de uma tipologia T3 com capacidade para 6 pessoas.

Quarto casal - 13,50m <sup>2</sup>	Cozinha - 10,00m <sup>2</sup>	Circulação - 13,00m <sup>2</sup>
Quarto - 12,50m <sup>2</sup>	Despensa - 1,25m <sup>2</sup>	Arrumos geral - 1,25m <sup>2</sup>
Quarto - 12,50m <sup>2</sup>	I.S. 1 - 4,50m <sup>2</sup>	Arrumos roupa - 1,50m <sup>2</sup>
Sala - 21,50m <sup>2</sup>	I.S. 2 - 1,50m <sup>2</sup>	Exterior privado - 2,50m <sup>2</sup>



Uma vez que o programa habitacional foi desenvolvido para ser aplicado em fogos de habitação colectiva, efectuou-se uma adaptação às exigências de uma habitação unifamiliar com dois pisos. No desenvolvimento do caso de estudo, optou-se por alterar a área de referência da sala por excesso para privilegiar uma área de convívio familiar comum, com o objectivo de proporcionar também uma maior capacidade de expansão futura (cf. Tabela 55). Considerou-se também a referência da área total habitável média de 228,00m<sup>2</sup> obtida nos dados do INE. Optou-se por um esquema de circulação com um hall central distribuidor e com a orientação dos compartimentos de maior utilização e maior necessidade de exposição solar e vistas privilegiadas a sul<sup>285</sup> (cf. Figura 351).

#### 5.1.3.2 TIPO ESPACIAL

O tipo espacial foi desenvolvido contemplando duas alternativas: uma com geometria de planta quadrada (cf. Figura 351) e outra de planta rectangular (cf. Figura 353). As características geométricas são definidas por um perímetro linear, com o mínimo de reentrâncias, prevendo-se no entanto subtracções básicas. A geometria da fachada é contínua, o contacto da construção com o terreno é directo, sem necessidade de integrar desníveis e a implantação da moradia é centrada no lote. Os espaços são compartimentos sendo a comunicação entre ambientes efectuada necessariamente por vãos de porta, devendo as divisórias de compartimentação ser estáticas.

#### 5.1.3.3 TIPOS SIMBÓLICOS

A exigências do cliente apontam já para um tipo simbólico específico, mas neste caso de estudo pretendeu-se ilustrar a concretização das várias tipologias. Com base nos dois tipos espaciais definidos (planta quadrada e planta rectangular) foram desenvolvidos os tipos simbólicos correspondentes às possibilidades tipológicas caracterizadas no capítulo 2.2: tipos modernos, contemporâneos e tradicionais, com os subtipos introvertidos e extrovertidos e com as variantes de subtipo urbano e subtipo rústico (cf. Figuras 355 e 356).

### 5.1.4 Desenvolvimento do estudo prévio

O desenvolvimento do estudo prévio teve em conta as condicionantes estabelecidas, apresentando-se a solução funcional de base com uma planta quadrada e uma solução alternativa com uma planta rectangular. Em complemento apresenta-se a proposta de evolutividade de ambas as soluções (cf. Figuras 352 e 354).

#### 5.1.4.1 SOLUÇÃO FUNCIONAL BASE

Tabela 55 - Programa de áreas da solução base (planta quadrada).

Piso 0			Piso 1		
Espaço	Nr.	Área (m2)	Espaço	Nr	Área (m2)
Hall	01	13,42	Hall	09	13,50
Sala	02	27,92	Quarto	10	11,60
Cozinha	03	10,92	Quarto	11	15,08
Lavandaria	04	4,32	I.S.	12	6,48
Quarto / Esc	05	14,40	Terraço	13	32,88
I.S.	06	6,48			
Arr. 1	07	2,64			
Arr. 2	08	2,64			

Tabela 56 - Áreas brutas da solução base (planta quadrada).

PISO 0 - 106,00 m2	SÓTÃO com utilização futura provável - 106,00m2
PISO 1 interiores - 67,00 m2	ÁREA TOTAL sem sótão - 212,00m2
PISO 1 terraço coberto - 39,00 m2	ÁREA TOTAL com sótão - 318,00m2

<sup>285</sup> "No espaço interior situado a norte devem ficar orientadas as funções secundárias, tais como arrecadações, despensas, escadas, corredores, etc., da mesma forma que se deve dar prioridade a sul às funções principais, ou seja, à maior superfície habitada" (Moita, 1987).

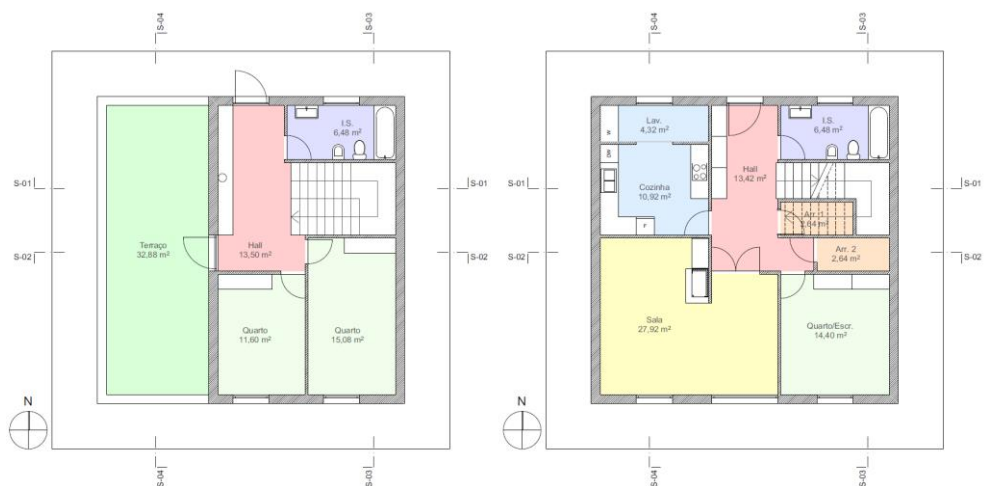


Fig. 351 - Plantas do Piso 0 e do Piso 1 da solução base.



Fig. 352 - Esquema de evolutividade da solução base (Tipologias T0, T1, T2, T3, T4 e T5).

Tabela 57 - Programa de áreas da solução alternativa.

Piso 0						Piso 1		
Espaço	Nr	Área (m2)	Espaço	Nr	Área (m2)	Espaço	Nr	Área (m2)
Hall	01	10,90	Lavandaria	06	5,52	Circ.	010	7,92
Circ.	02	11,42	I.S.	07	6,48	Quarto	011	12,60
Sala	03	28,35	Dispensa	08	1,21	Quarto	012	12,60
Quarto/Escr.	04	12,25	Arrumos	09	1,21	I.S.	013	4,08
Cozinha	05	12,25				Terraço	014	46,80

1. Piso 1

0. Piso 0

353 - Plantas do piso 0 e do piso 1 - Solução alternativa.



Fig. 354 - Esquema de evolutividade da solução alternativa (Tipologias T0, T1, T2, T3, T4 e T5).

#### 5.1.4.2 TIPOS SIMBÓLICOS - MODELO COMPACTO

A solução arquitectónica do modelo de base foi desenvolvida do ponto de vista da volumetria e dos materiais tendo como referência os tipos simbólicos modernos, contemporâneos e tradicionais com as suas doze variantes, obtendo-se doze alternativas (cf. Figura 355).

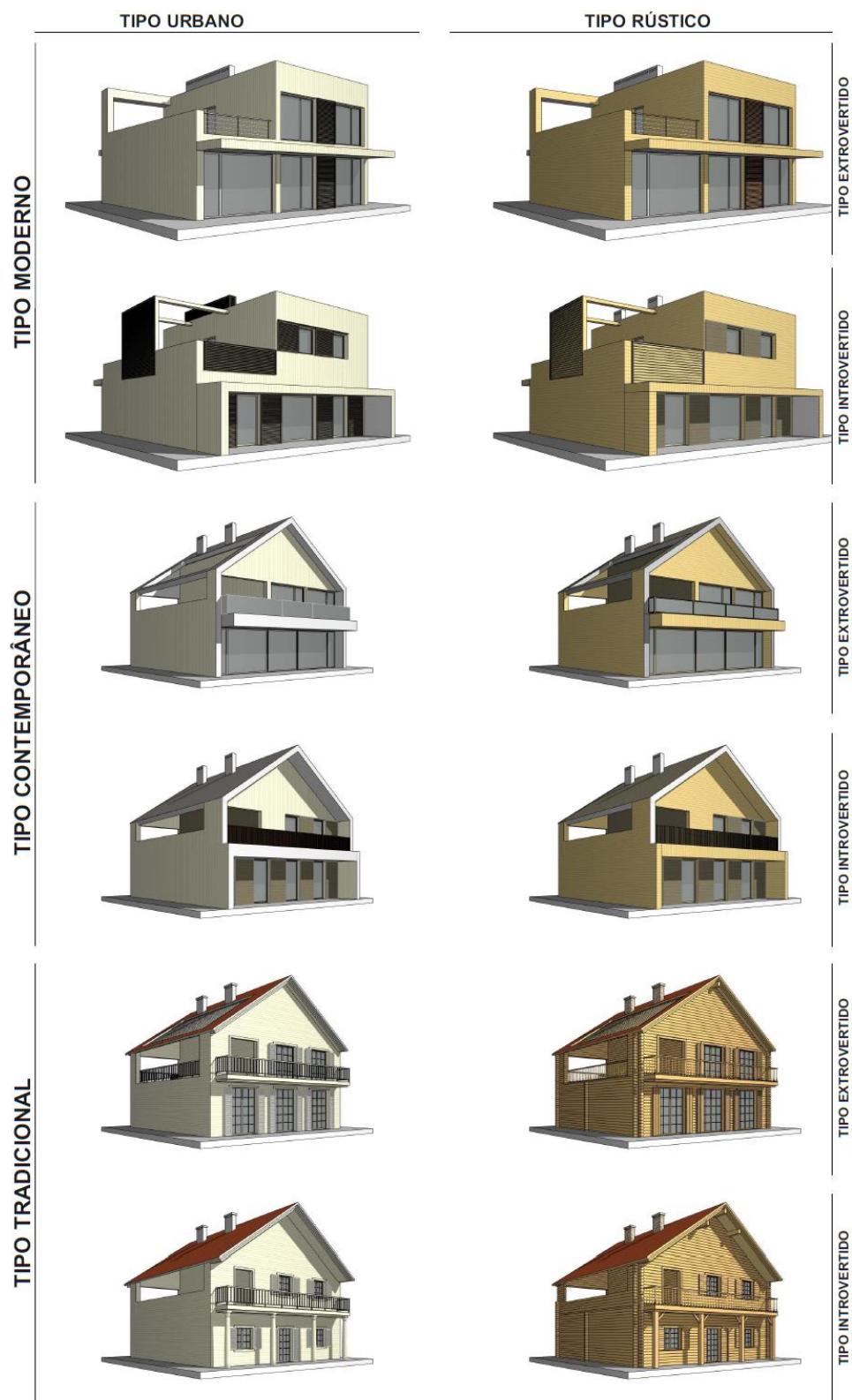


Fig. 355 - Tipos simbólicos aplicados à solução base.

#### 5.1.4.3 TIPOS SIMBÓLICOS - MODELO ALTERNATIVO

A solução arquitectónica do modelo de base foi também desenvolvida do ponto de vista da volumetria e dos materiais tendo como referência os tipos simbólicos modernos, contemporâneos e tradicionais com as suas doze variantes (cf. Figura 356).

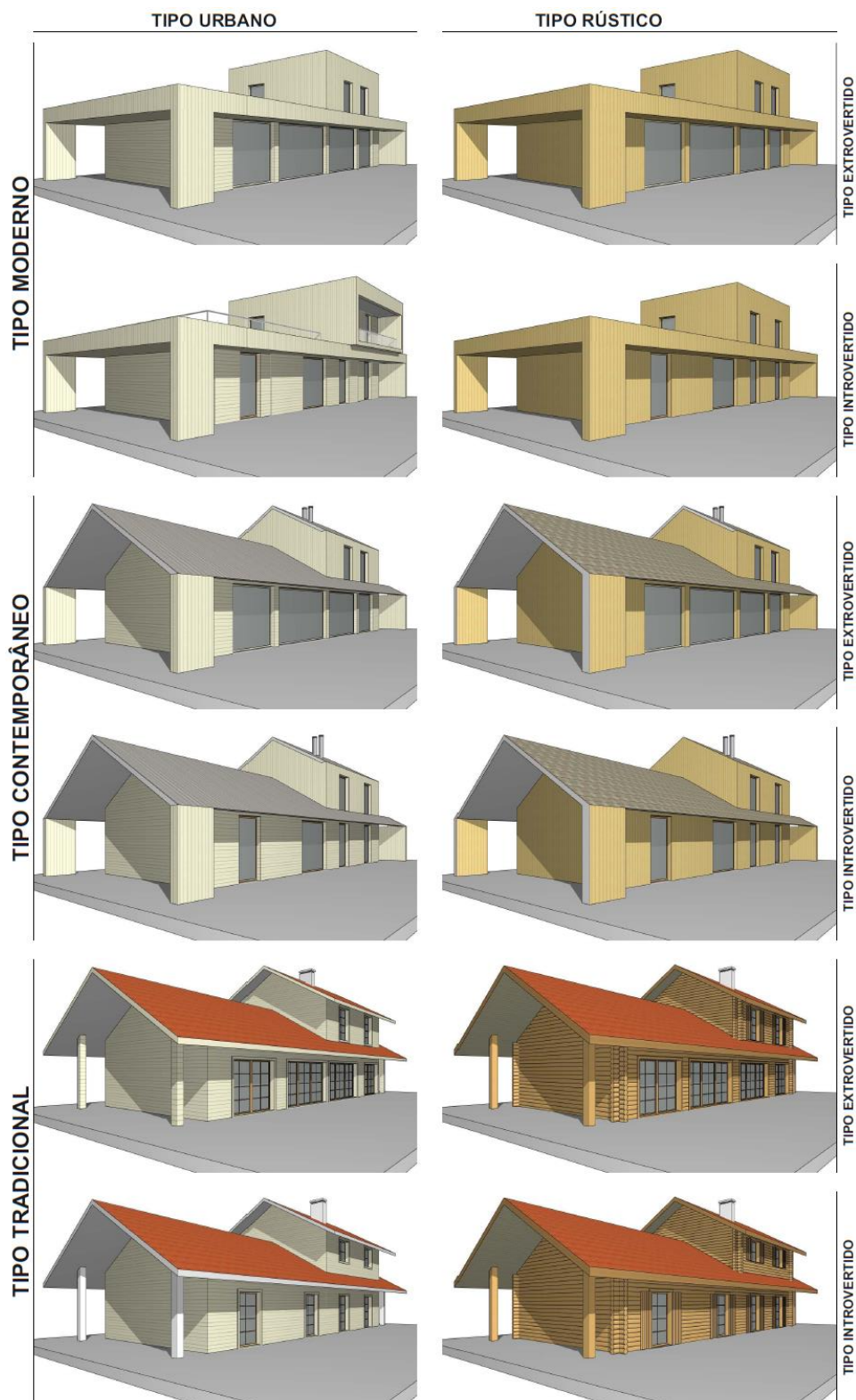


Fig. 356 - Tipos simbólicos aplicados à solução alternativa.

### 5.1.5 Solução escolhida

Seleccionou-se para caso de estudo a solução base de planta quadrada apesar de se encontrarem argumentos para a solução de planta rectangular. A planta rectangular é benéfica pelo facto de maximizar as superfícies expostas a sul e minimizar as fachadas orientadas a nascente e poente. No entanto a planta quadrada é mais compacta, apresentando uma menor superfície de envolvente e com menos reentrâncias expondo o ambiente interior a menos perdas de calor resultando num melhor balanço térmico global<sup>286</sup>. Um problema normalmente identificado nos edifícios de planta quadrada consiste no afastamento dos espaços interiores das fontes de iluminação natural proveniente do perímetro<sup>287</sup>. Este factor que se pode revelar crítico em edifícios de maior dimensão será no entanto minimizado em edifícios de pequena dimensão como o da solução proposta, recorrendo-se ainda ao preenchimento das zonas interiores para localizar escadas e espaços de circulação.

A solução de planta quadrada foi também escolhida devido às vantagens que oferece em termos de potencial de adaptação a uma maior variedade dimensional dos lotes. Um procedimento corrente nas operações de loteamento consiste na minimização das frentes de lote de forma a ser possível otimizar as infraestruturas viárias e as redes de abastecimento, para além da vantagem comercial de permitir em princípio um maior número de lotes individuais. A solução compacta adapta-se por exemplo a lotes com 16 metros de largura destinados a moradias, sendo também possível com a solução de planta quadrada adoptar organizações em banda com empenas comuns, obtendo-se neste caso lotes com apenas 10 metros de frente.

Do ponto de vista da solução simbólica, escolheu-se o tipo contemporâneo introvertido urbano, com uma solução de cobertura de duas águas inclinadas. Adopta-se uma estratégia de abertura moderadas de vãos de janelas para o exterior de modo a atenuar os ganhos térmicos no Verão (prevendo-se portadas de correr exteriores na fachada sul). Os detalhes são simplificados, não se prevendo pinázios intermédios nas janelas e portas, minimizando-se as molduras e os remates nas transições e ao longo da fachada. O revestimento das paredes exteriores deverá ser realizado em madeira com uma disposição de régua horizontal de tons claros ou pintada para proporcionar uma ambiência mais urbana que rústica.

---

<sup>286</sup> “As perdas térmicas são directamente proporcionais à extensão da superfície exterior, definindo-se coeficiente de forma de um edifício, o quociente da sua superfície exterior (excluindo as faces em contacto com o solo, pelo volume habitável”. (Moita, 1987)

<sup>287</sup> Num edifício em que se pretenda otimizar a luz natural e a ventilação natural, deve adoptar-se uma forma cuja maior área de pavimento esteja próxima do perímetro. Ainda que uma forma estreita pareça comprometer o desempenho térmico de um edifício, as poupanças em energia proporcionadas por um sistema de luz natural bem desenhado poderão compensar as perdas pela envolvente. (National Renewable Energy Laboratory, 2002)





Fig. 357 - Solução escolhida. Cortes transversais e longitudinais, alçados norte e sul e perspectivas sudoeste e nordeste..

## 5.2 PROJECTO COM RETICULADOS LEVES



Fig. 358 - Alçados Sul e Norte da solução desenvolvida.

### 5.2.1 CASO DE ESTUDO (Reticulados)

Desenvolveu-se um caso de estudo com base na solução arquitectónica concretizada no capítulo 6.1. O modelo formal considerado foi concebido tendo em conta a solução espacial e volumétrica com uma planta quadrada (10,00mx10,00m), com dois pisos, e sem cave. A opção pelo tipo simbólico contemporâneo, introvertido urbano determinou as restantes características do modelo. Depois de desenvolvida a solução ao nível de estudo prévio, a tarefa seguinte consistiu em adaptar a esse modelo um determinado sistema construtivo. Este sistema construtivo por sua vez, embora sendo constituído pelos tipos de envolvente, de compartimentação e de estrutura, é dominado pela solução estrutural. Assim, a tarefa principal desta fase (caso de estudo) consiste em adaptar o tipo estrutural ao projecto arquitectónico desenvolvido previamente. O primeiro tipo estrutural testado é o de reticulados leves.

Deve-se referir que a diferenciação teórica que aqui se adoptou entre os diversos tipos do sistema construtivo (tipos funcionais, espaciais, simbólicos, estruturais, de envolvente e de compartimentação) não é estanque uma vez que muitos dos componentes da construção pertencem simultaneamente a mais de uma tipologia. Acontece assim por exemplo com os montantes de madeira das paredes exteriores que tanto são elementos constituintes do tipo estrutural como do sistema da envolvente. O mesmo se aplica aos montantes estruturais das paredes portantes interiores que fazem parte ao mesmo tempo do tipo estrutural e do tipo de compartimentação.

No manual de construção reticulada “Canadian Wood-frame construction” (CMHC, 2013a, p. 33) refere-se que do ponto de vista construtivo, a envolvente construída é o elemento que deve ser estudado de forma mais integrada. A envolvente integra as funções de separador entre os ambientes exterior e interior, compreendendo as paredes de fundação e o pavimento da cave, ou do piso térreo, as paredes exteriores, a cobertura, as portas, janelas e todos os componentes e infraestruturas que do interior transpõem a envolvente para o exterior.

#### 5.2.1.1 SISTEMA CONSTRUTIVO (RETICULADOS)

Considerou-se para caso de estudo o tipo estrutural de reticulados leves com base em elementos de madeira lineares. O conceito de planos estruturais formados por reticulados leves integra diversos sistemas e soluções particulares. Referiram-se já o *balloon frame*, o *platform frame*, e o AFT (*Advanced Framing Techniques*) que consistem em métodos específicos de agrupar os diversos componentes, que pressupõem também diferentes métodos e processos de fabrico e montagem. O método mais básico, mais acessível e mais



difundido consiste na produção e montagem dos elementos de construção (paredes, pavimentos, tectos, etc.) no local da própria obra. Comparativamente a este processo, a pré-fabricação de painéis tem diversas vantagens, nomeadamente a rapidez de construção e a protecção dos componentes em relação às variações do clima durante o fabrico. Em função da dimensão dos painéis fabricados (pequenos, médios e grandes) a indústria concebeu subsistemas alternativos, com variantes desde o painel modular de pequena dimensão até ao módulo de fachada completo. A pré-fabricação mais completa através de módulos espaciais, parciais e totais, geralmente só tem aplicação em situações que permitem muitas repetições, ou com soluções arquitectónicas normalizadas de reduzidas dimensões.

Do ponto de vista geográfico, observam-se naturalmente variações regionais nas condicionantes do clima, na própria cultura construtiva (os procedimentos baseados no hábito e na tradição), e nas dimensões dos produtos utilizados bem como no tipo de oferta do mercado de componentes e produtos de construção. Neste caso de estudo foi seguido o processo corrente na América do Norte, mais especificamente o método normalizado aceite no Canadá. Considerou-se que sendo o sistema de reticulados leves tipo *platform frame* a base dos restantes sistemas referidos, seria mais lógico escolher este para caso de estudo. Entendeu-se também que a simplicidade do sistema pode vir a ser muito adequada no futuro à sua utilização por parte de pequenas empresas de construção em madeira, que não possam ou não pretendam recorrer à pré-fabricação.

#### 5.2.1.2 COMPONENTES E ELEMENTOS CONSIDERADOS (RETICULADOS)

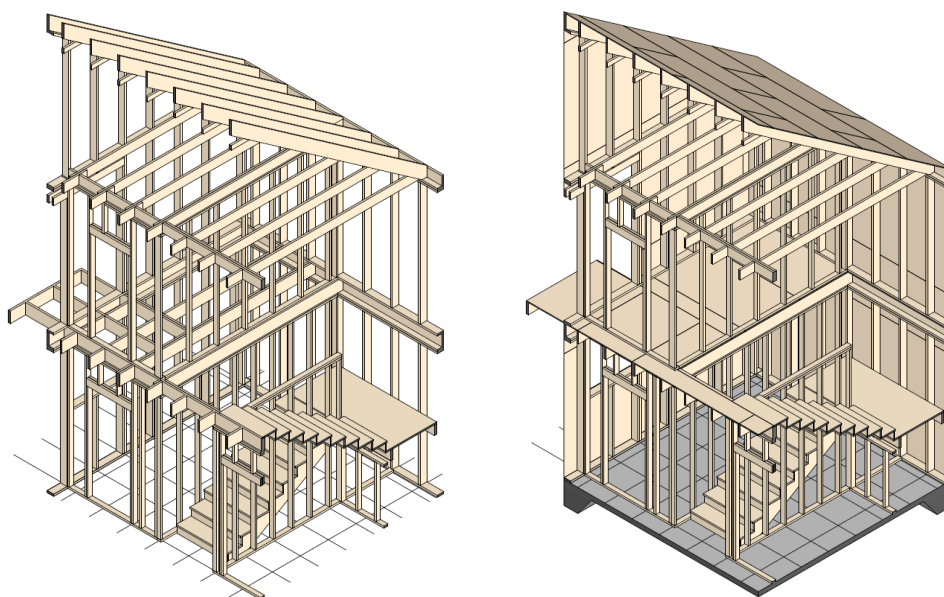


Fig. 359 - Axonometria seccionada da solução estrutural de reticulados leves aplicada à solução formal pré-definida.

Como ponto de partida entendeu-se que das várias opções possíveis se deveria escolher uma solução que integrasse uma laje de betão armado no pavimento térreo, paredes estruturais de reticulados leves no exterior, tendo por base elementos de madeira com secção de 38x140mm e paredes interiores estruturais de componentes de madeira com secção de 38x89mm (cf. Figura 359). Para as estruturas dos pavimentos, tectos e cobertura optou-se por componentes de madeira estrutural maciça (para permitir uma abordagem mais genérica) embora cada vez mais as soluções correntes contemplem elementos de compostos e derivados de madeira do tipo vigas *I-Joist* e elementos completos como as asnas de madeira pré-fabricadas. Para os revestimentos estruturais utilizaram-se os painéis de OSB. Para os revestimentos interiores de paredes e tectos escolheram-se painéis de gesso

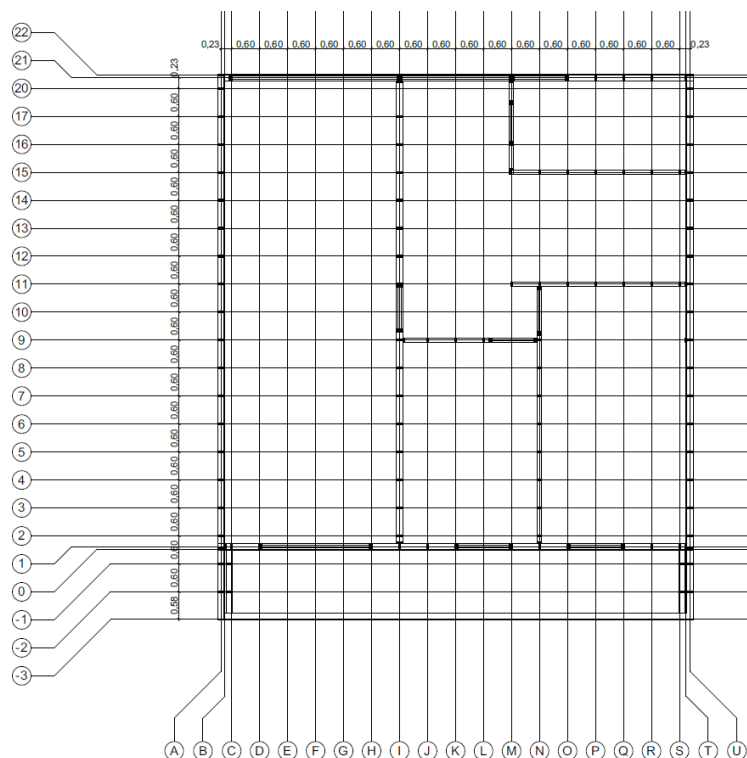
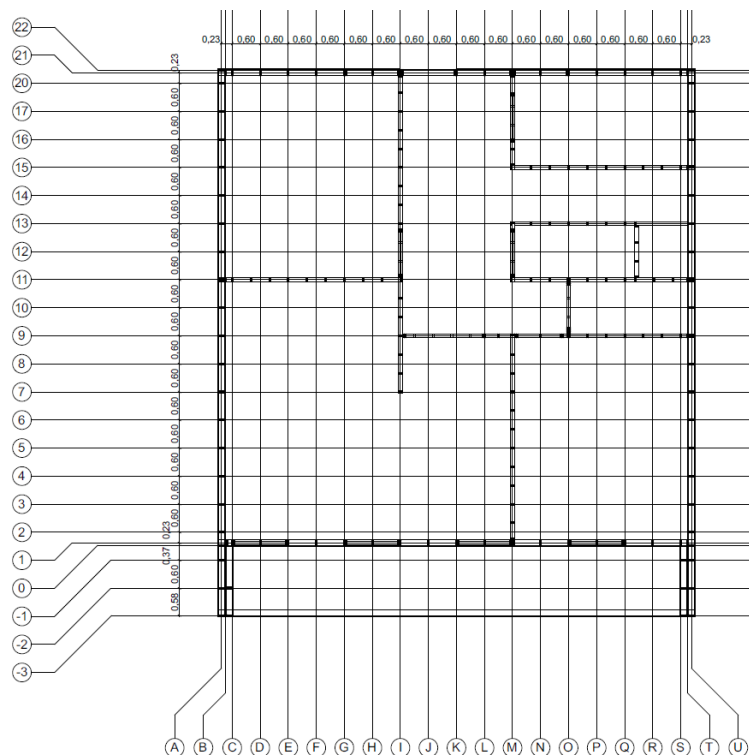
cartonado (cf. Figura 362). Os revestimentos interiores do pavimento térreo são cerâmicos e os do piso superior em madeira maciça. Para outros componentes como os isolamentos térmicos, as telas de protecção da envolvente e para os revestimentos de acabamento exteriores e interiores, dada a enorme diversidade de soluções disponíveis no mercado e o interesse marginal para este estudo, são apontadas apenas soluções genéricas.

#### 5.2.1.3 GRELHA ESTRUTURAL (RETICULADOS)

A grelha estrutural consiste na base geométrica abstracta que permite posicionar os montantes estruturais e as paredes que são definidas por estes. Como já foi referido antes, as grelhas estruturais mais adoptadas para os sistemas de reticulados leves são as de 600x600mm, 400x400mm ou 300x300mm. Existirão três estratégias fundamentais para a definição da grelha estrutural (TRADA, 2008, p. 28). A primeira estratégia consiste no alinhamento da grelha com o revestimento exterior permitindo, em projectos muito racionalizados, gerir o posicionamento dos vãos. Na segunda estratégia opta-se por alinhar o revestimento interior das paredes exteriores com a grelha, com o propósito de se obterem dimensões espaciais interiores compatíveis com elementos de dimensões normalizadas: de cozinha, de escadas e de portas. Na terceira estratégia, que é a mais utilizada, alinha-se a grelha com os centros dos montantes estruturais ainda que tenha que haver um ajuste no módulo inicial devido à forma como se detalha normalmente o encontro de duas paredes concorrentes.

No caso de estudo optou-se por utilizar uma grelha de 600x600mm uma vez que esta conduz à redução do número de componentes de madeira e é compatível com a geometria que em geral é utilizada em Arquitectura. Tanto os módulos de cozinha como os diversos materiais de revestimento apresentam dimensões comerciais compatíveis com esta dimensão. Mas a utilização destas grelhas tem por base principalmente a compatibilidade dimensional dos elementos estruturais com os materiais de revestimento (estrutural ou só de preenchimento) oferecidos pelo mercado, como os painéis de OSB, de contraplacado e de gesso cartonado (com dimensões normalizadas de 1200x2400mm por exemplo). Também frequentemente outros tipos de revestimentos de pavimento e parede são compatíveis com as dimensões adoptadas para a grelha. As espessuras e as secções dos restantes componentes a utilizar na estrutura são definidas no decorrer do processo de adaptação do sistema construtivo ao sistema formal.

A adaptação da grelha de 600x600mm à organização espacial previamente definida exigiu que se tivesse em conta a definição dos elementos estruturais verticais das paredes exteriores e interiores. Procedeu-se a várias tentativas, testando-se várias hipóteses de arranque da grelha. Optou-se por uma grelha em que o módulo de arranque em ambas as direcções fosse igual para permitir uma conjugação da grelha estrutural com os vãos da fachada sul, regrados por uma dimensão de 1,20m. Ao mesmo tempo este esquema de grelha, em relação a outras permitia conjugar os espaços interiores das casas de banho e das cozinhas com módulos estruturais inteiros. Assim, ainda que se possa afirmar que há um sobredimensionamento ou duplicação dos elementos estruturais nos cantos da construção, optimizam-se os montantes estruturais no encontro das paredes interiores com as exteriores, evitando-se aqui as duplicações. Houve também necessidade de adaptar as definições espaciais às definições da grelha estrutural, alterando ligeiramente algumas dimensões dos espaços interiores, sem no entanto colocar em causa o essencial do programa definido na solução formal (cf. Figuras 360 e 361).



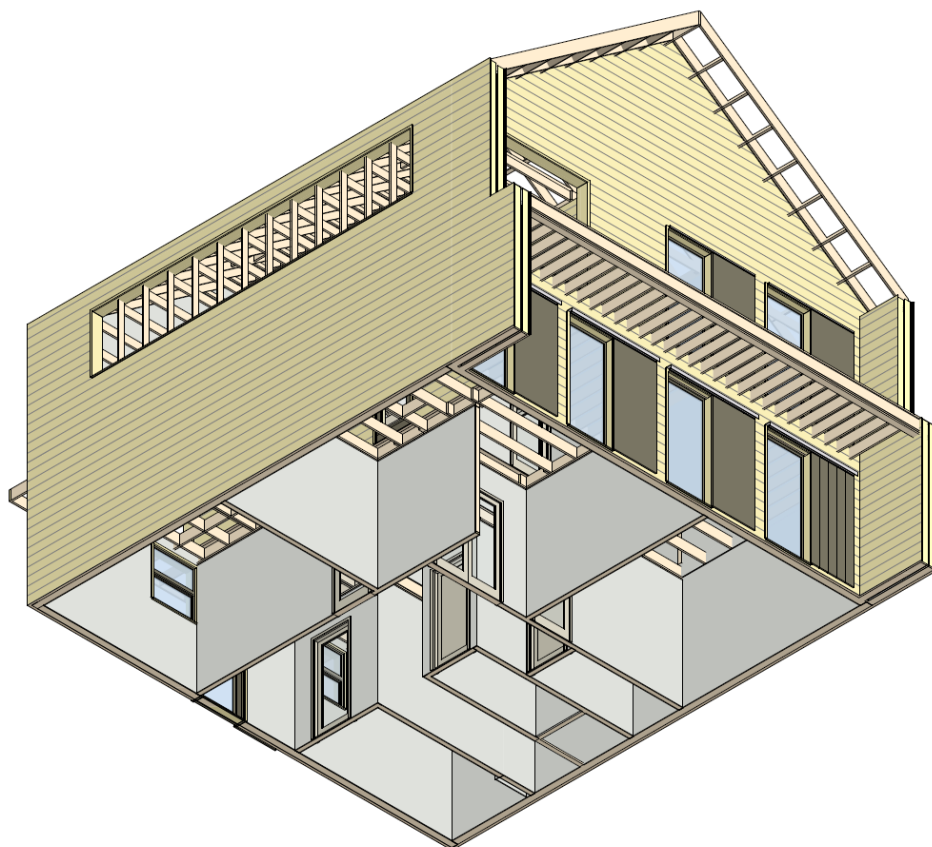


Fig. 362 - Axonometria inferior sem os revestimentos de acabamento de tectos.

#### 5.2.1.4 PAVIMENTO TÉRREO (RETICULADOS)

Para o pavimento térreo foi considerada uma laje de betão armado por se considerar que é uma solução simples e com algumas vantagens em relação à solução em estrutura de madeira sobre espaço de serviço. Ainda que uma solução de pavimento térreo em estrutura de madeira recorresse a mais componentes de madeira (o que seria interessante do ponto de vista da valorização dos recursos renováveis), o betão não deixaria de estar presente nas fundações. Por outro lado, uma solução de laje em betão armado pode fornecer a massa térmica adicional, que as soluções de madeira não podem proporcionar. Outra vantagem da opção pela laje de pavimento em betão armado consiste ainda em fornecer uma segurança suplementar em relação à durabilidade. Previne-se de forma mais eficaz o ataque biológico (térmitas e fungos), eliminando um importante factor de risco associado à presença de componentes estruturais de madeira próximos do solo.

*"Slab-on-grade systems are used mostly in warm climates, where living is close to the ground and the frost line is close to the surface. The footing is usually shallow, and the ground floor is a concrete slab. Many slab-on-grade systems allow the concrete footing, foundation, and subfloor to be poured at the same time." (Thalon, 2009)*

A definição da laje de pavimento e as respectivas fundações devem ser equacionadas em função do tipo de solo (argila, sedimentar, granulados grosseiros ou rocha) e com a consulta à Engenharia de estruturas. Em princípio a laje de betão armado terá cerca 10cm de espessura (podendo em algumas situações ser necessário até 20cm), integrando sapatas perimetrais (com cerca de 50cmx30cm), sendo a laje assente sobre pelo menos 10cm de grilha compactada, ou em alternativa, um betão de limpeza sobre brita. O perímetro da laje coincidirá com a linha geométrica definida pela face exterior das travessas de pavimento.

A preocupação fundamental de projecto em termos de posicionamento geométrico da laje consiste em prever uma altura de pelo menos de 150mm (6") entre o topo da laje e o terreno envolvente (Thalon, 2009, p. 22; CMHC, 2013a, p. 82), outras fontes referem que esta dimensão deve ser de 30cm (Steiger, 2007, p. 52). Adicionalmente, a laje deverá ser isolada nas superfícies verticais expostas sob as paredes exteriores e nas zonas de contacto com o solo (recorrendo ao XPS por exemplo). Entre a laje e o isolamento térmico, nas zonas de contacto com o solo, deve haver uma tela estanque para prevenir a ascensão de humidade e a sua condução para o interior da construção.

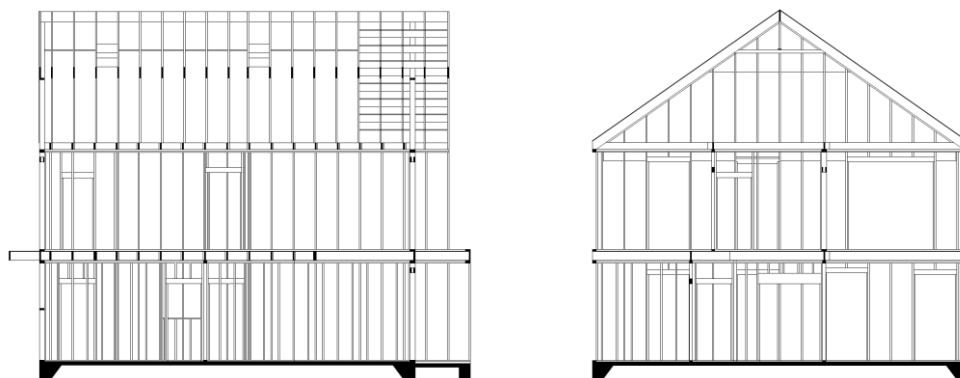


Fig. 363 - Cortes (Norte Sul e Este Oeste) da solução estrutural.

#### 5.2.1.5 DEFINIÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES (RETICULADOS)

As paredes exteriores são constituídas por montantes de madeira com secção de 38x140mm (2"x6" nominais) espaçados de 600mm ao centro. Esta é a solução normalizada actualmente no Canadá e nos EUA porque permite a integração de uma camada de isolamento térmico mais consonante com as exigências de conforto e energia (cf. Figura 364 e Axonometria da Figura 365). Prevê-se a instalação de isolamento de lã de rocha entre os montantes, sendo estes ligados a travessas de base com a mesma secção. As travessas de topo são neste caso duplicadas, segundo a prática comum no Canadá porque para além da maior resistência contribui para um mais eficaz travamento do conjunto estrutural. Também para obter uma maior eficácia no travamento, as juntas dos componentes de madeira das duas travessas (superior e inferior) devem ser sempre desencontrados.

A travessa de soleira é normalmente só uma, embora neste caso possa ser benéfico instalar uma segunda travessa para facilitar a fixação dos revestimentos interiores. As dimensões do espaçamento e da secção dos montantes podem ser obtidas através da consulta de tabelas (neste casos retiradas do National Building Code of Canada 2010 NBC). Consultando a tabela 25 do Manual CWC (CMHC, 2013a, p. 290) obtém-se que para as cargas usuais numa habitação com uma cobertura (com ou sem sótão) e um piso adicional, se aceita a solução de montantes estruturais com espaçamento de 600mm e secções de 38x140mm, tendo atenção ao limite de uma altura máxima de 3m de parede piso a piso.

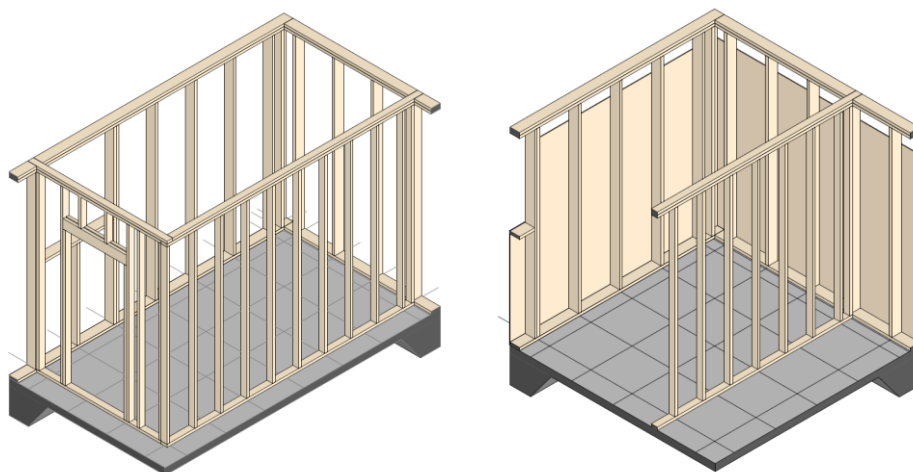


Fig. 364 - Encontro de canto entre duas paredes exteriores e duas paredes interiores, com revestimento estrutural em OSB pelo exterior na imagem da direita.

Na abertura de vãos de portas e janelas deve-se efectuar a duplicação dos montantes de ombreira que suportam os respectivos lintéis. Para a execução dos lintéis escolheram-se dois componentes de 38x140mm que deverão ter um elemento de ligação entre eles. Da consulta das tabelas (tabela 26 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 291) obtém-se que o máximo vão a vencer pelo lintel, considerando o mínimo de cargas de neve e suportando uma cobertura com tecto e um pavimento, com dois componentes de lintel com secções de 38x140mm, é de 1,49m. Os lintéis quando não alinham pela face inferior das travessas de topo devem ser suportados adicionalmente por montantes de lintel (*top cripples*) alinhados e posicionados segundo a grelha estrutural.

A dimensão final dos vãos deve ser calculada em função da diferença entre a medida em tosko e a medida final. Para tal, deve ser tido em conta uma junta de 12,5mm entre os elementos estruturais e a face dos aros dos vãos a instalar posteriormente. Assim, na dimensão horizontal dos vãos em tosko há que contar com a subtracção de 25mm em relação aos aros dos vãos previstos (CMHC, 2013a, p. 180). Este espaço deverá ser preenchido na altura da instalação com espuma de poliuretano ou com outro selante adequado. Na decisão de localizar as janelas e portas exteriores na espessura da parede deve ser considerada a vantagem em colocar os vãos mais próximos dos planos interiores das paredes uma vez que o risco de condensação nos vidros fica mais reduzido. No entanto em paredes espessas, a colocação dos vãos próximo da face interior obriga a elementos de guarnecimento de vãos, em especial de peitoris e soleiras, de grande dimensão e por isso sujeitos a um maior risco de degradação.

#### 5.2.1.6 DEFINIÇÃO DAS PAREDES INTERIORES (RETICULADOS)

Consultando as tabelas (a já referida tabela 25 do Manual CWC), obtém-se que para paredes interiores que suportem uma volumetria de um piso mais um sótão não acessível por uma escada, é permitida a utilização de montantes de 38x89mm (2"x4" nominais), espaçados de 600mm. Se o sótão for acessível então o espaçamento dos montantes deverá ser reduzido para 400mm. Neste caso optou-se pela solução de 38x89mm com espaçamento de 400mm, considerando que embora na solução base não haja acesso ao sótão, tal solução pode vir a ser adoptada no futuro (cf. Figura 364). As paredes interiores com montantes de 38x89mm permitem, em princípio, a instalação das infraestruturas necessárias nas casas de banho, não sendo necessário adoptar paredes de maiores espessuras. Para uma melhoria do

comportamento térmico e acústico, estas deverão incorporar isolamento térmico entre os espaços de montantes .

Consultando as tabelas (tabela 26 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 291) obtém-se que para abertura de portas nas paredes interiores o máximo vão a vencer pelo lintel, considerando o mínimo de cargas de neve, e suportando uma cobertura, com tecto e um pavimento adicional, assumindo dois componentes de lintel com secções de 38x89mm é de apenas 0,74m, um pouco menos do que os vãos de 0,90m, em tosco, que estão previstos. Deverão então ser utilizados lintéis com dois componentes de 38x140mm uma vez que com esta solução são permitidos vãos até 1,02m. No caso da porta dupla de acesso à sala do piso térreo, o vão tem 1,62m pelo que é necessário aqui recorrer a um lintel de dois componentes de 38x286mm.

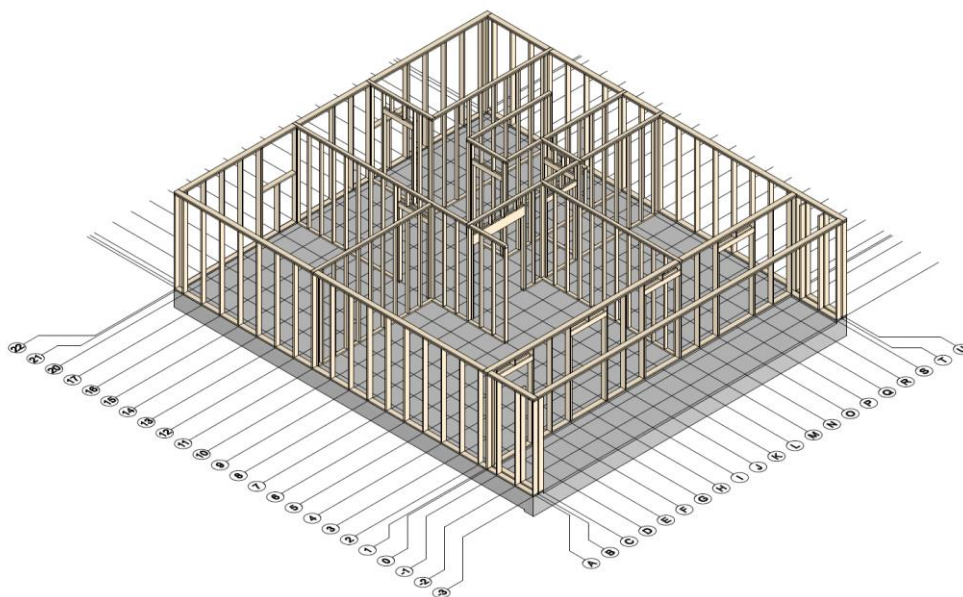


Fig. 365 - Axonometria estrutural com paredes exteriores e interior do piso térreo.

Para a definição da dimensão das portas deve-se ter atenção à altura em tosco necessária para a instalação das guarnições. Neste caso optou-se por uma abertura horizontal do vão em tosco de 90cm que permite, em função das guarnições escolhidas uma porta de 796mm, contemplando já a tolerância de 12mm para cada um dos lados na horizontal e 63mm em altura para absorver os movimentos da madeira. A abertura vertical em tosco tem 2,10m permitindo uma abertura útil de 1,997m que conta já com os espaços previsíveis de assentamento da construção. Deve-se ter também atenção que as portas nos extremos de paredes devem contemplar golas necessárias para dar lugar aos montantes de ombreira, destinados a suportar os lintéis.

#### 5.2.1.7 DEFINIÇÃO DO PAVIMENTO ELEVADO DO PISO SUPERIOR (RETICULADOS)

Para a definição do pavimento elevado, embora seja cada vez mais comum a utilização de vigotas do tipo *I-Joist*, optou-se pela solução mais clássica e genérica: uma estrutura de vigotas de pavimento em madeira maciça. Definiu-se como princípio o espaçamento de vigotas de pavimento de 600mm para haver uma coincidência com os montantes de parede e para obter uma solução que em princípio será mais económica (CMHC, 2013a, p. 101).

Por vezes a opção pelo afastamento de 600mm é colocada de parte porque a exigência de vigotas com maior altura pode condicionar as alturas da construção definidas pelas entidades licenciadoras. Quanto à orientação das vigotas de pavimento escolheu-se como dominante a



Consideraram-se as paredes interiores e exteriores como portantes, evitando-se assim a necessidade de definir vigas adicionais para suporte das vigotas de pavimento. No caso de estudo é necessário prever soluções para vãos máximos de 3,80m no pavimento do primeiro piso. Consultando as tabelas (a tabela 20 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 285), observa-se que considerando vigotas de pavimento (*joists*) de madeira de Pinho com um espaçamento entre elas de 600mm, deveriam ser escolhidas secções de 38x235mm, devendo estar implícito o uso de cruzetas de tarugamento (*bridging*) e uma estrutura de sarrafos inferior, para que possa ser considerado o vão máximo de 4,00m.

457



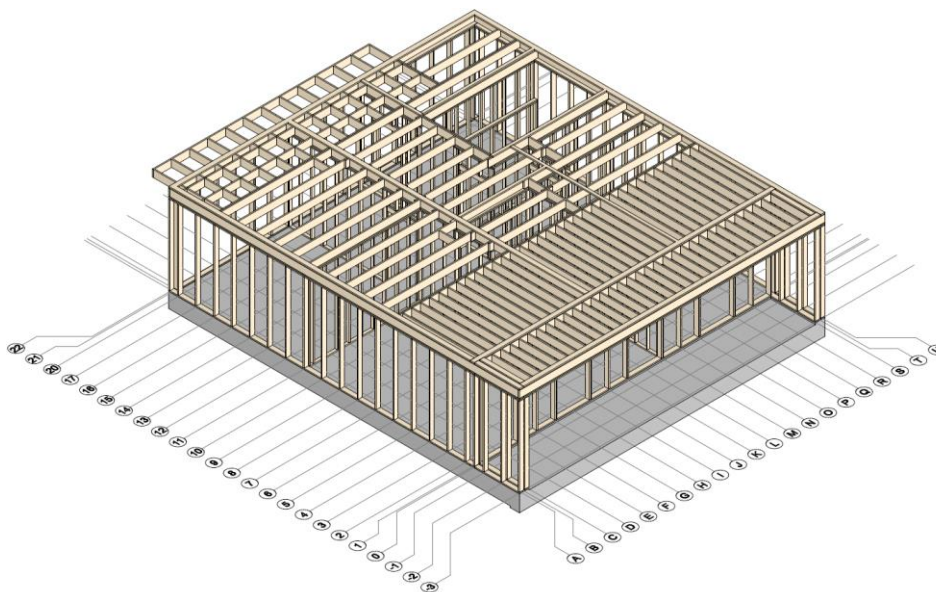


Fig. 367 - Axonometria estrutural com paredes do piso térreo e pavimento do piso 1.

Em caso de ser necessário vencer vãos maiores, para além de se ser sempre possível recorrer a soluções de introdução de vigas e pilares de madeira composta ou Glulam, podem escolher-se por exemplo outras espécies de madeira mais resistentes. Verifica-se que o limite máximo para vãos, utilizando espécies de Pinho, Espruce ou Abeto e com vigotas de pavimento de 38x286mm, é de 4,49m. Se se considerar que as soluções propostas incluem o tarugamento e o revestimento de tecto assente em ripado de madeira pregado na face inferior das vigas, o vão máximo permitido passa a ser 5,06m. Utilizando Abeto Douglas, Pinho Laríço ou uma combinação de espécies de Tsuga e Abetos ("Hem Fir") os vãos máximos permitidos atingem os 5,40m. Conseguem-se no entanto obter vãos com 6,50m se a solução dos pavimentos incluir revestimentos de piso em betão.

O pavimento do piso 1 tem na varanda exterior da fachada sul uma solução que não é simples para a tecnologia da construção em madeira utilizando apenas a lógica da construção reticulada e os componentes leves de madeira maciça. A varanda projecta as vigas para além da fachada cerca de 1,45m e desenvolve-se sem apoios verticais nos pontos mais projectados numa extensão de cerca de 9,50m. Tentando aplicar à varanda as regras prescritivas para os *decks*, conclui-se que a ausência de apoios intermédios entre os dois limites laterais inviabiliza este pressuposto. Para ser considerado um deck, os vãos máximos que se prevê alcançar entre pilares são de 4,16m, com madeira maciça (3x2'x12'), e 5,50m (18'), com vigas Glulam de 5-1/4"x16" (American Wood Council, 2015).

#### 5.2.1.8 DEFINIÇÃO DOS PAVIMENTOS EM CONSOLA (RETICULADOS)

A solução proposta para resolver o balanço da varanda orientada a sul consistiu em "rodar" 90° as vigotas em relação à orientação principal. A construção tradicional em madeira com os componentes leves limita muito o tipo de balanços que as soluções arquitectónicas podem adoptar. Por exemplo, o International Residential Code (IRC) dos EUA (International Code Council, 2015) refere que os balanços dos volumes das habitações (com espaços interiores cobertos) não devem ser superiores à altura das vigas de pavimento. No caso das consolas em varandas, o IRC fornece uma tabela onde está previsto um balanço de 1,09m (43"), no pressuposto que as vigotas têm secções de 38x235mm (2"x10"), com 600mm de espaço entre si e prevendo as cargas de neve mínimas. Uma vez que a solução proposta apresenta um balanço de 1,46m, exige-se a alteração do espaçamento das vigotas para 300mm (12"),

permitindo-se assim uma consola máxima de 1,55m (61"). Decidiu-se então duplicar as vigas, o que evidentemente terá reflexos no custo da construção (cf. Figura 368). Por outro lado seguiu-se a recomendação de prolongar para o interior as vigas numa dimensão que seja pelo menos o dobro da dimensão do balanço (Thalon, 2009, p. 39) (Whitaker & Whitaker, 2005). Uma vez que esta varanda está apoiada nos seus dois extremos, não se seguiu o princípio, que também é referido noutras fontes, segundo o qual o balanço deve ser apenas 1/4 do vão da viga.

No caso da pala não visitável localizada na fachada norte, sendo o balanço de 800mm não é necessário alterar o espaçamento entre vigas de 600mm. Estas soluções de prolongamento das vigas interiores para o exterior, apesar de estarem contempladas na proposta, não são as mais desejáveis uma vez que obrigam a uma penetração de componentes estruturais na envolvente. Nestes casos deverão ser executados detalhes e controlada a montagem de modo a garantir a continuidade (ou pelo menos a correcção) do isolamento térmico da envolvente e a estanquidade das juntas entre componentes.

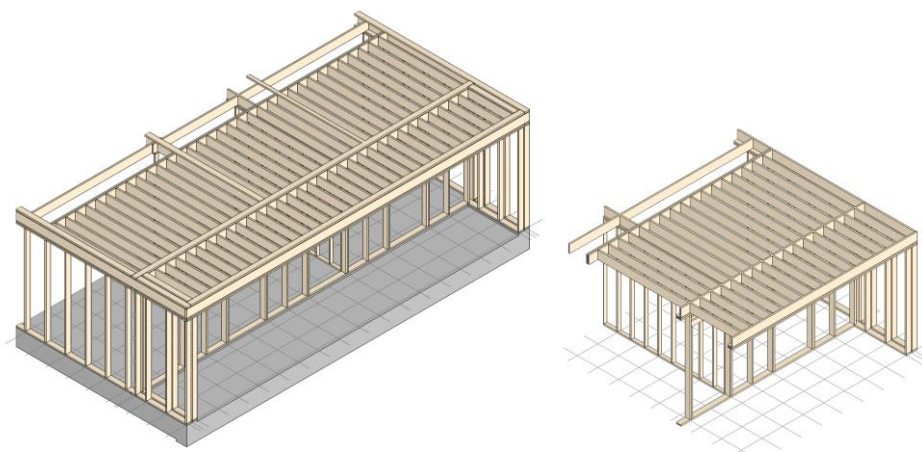


Fig. 368 - Axonometria estrutural. Proposta de solução da varanda a sul.

#### 5.2.1.9 REFORÇOS PARA ABERTURAS EM PAVIMENTOS (RETICULADOS)

As aberturas de vazios no pavimento para a localização de escadas ou para a passagem de tubagens, quando a dimensão perpendicular às das vigotas for superior a 800mm, deve ser acompanhada de um reforço através da duplicação das vigotas que envolvem esse vazio. As vigotas envolventes perpendiculares às anteriores e que recebem a entrega das restantes vigotas, devem ser também duplicadas se a sua dimensão for superior a 1,20m (CMHC, 2013, p. 102). Adoptou-se a duplicação de vigotas no caso das escadas de acesso ao piso superior (cf. Figura 369), mas no caso dos vazios criados pelas duas chaminés, da cozinha e da lareira, não há necessidade de tal procedimento uma vez que as suas dimensões têm apenas de 550x500mm.

#### 5.2.1.10 DEFINIÇÃO DE PAREDES DO PISO SUPERIOR (RETICULADOS)

Para a definição das paredes do piso superior (interiores e exteriores) consultaram-se as tabelas (tabela 25 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 291) onde se observa que no caso de serem apenas suportadas coberturas acessíveis por escada, para as paredes exteriores e interiores, seriam suficientes montantes de 38x89mm, espaçados 600mm entre si. As definições adoptadas para as portas e vazios do piso inferior, aplicaram-se também para este piso.

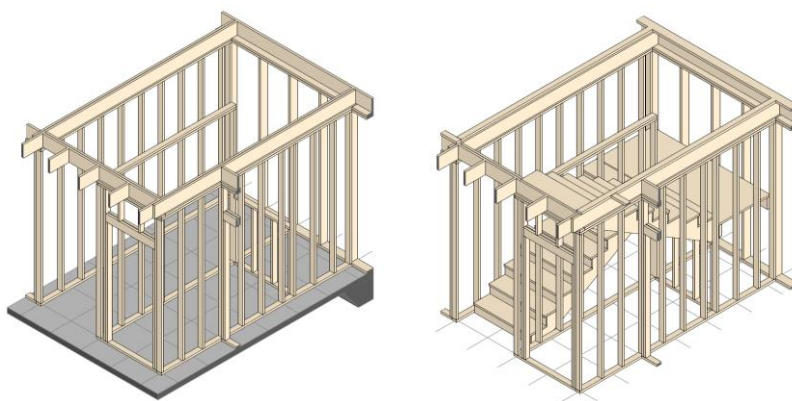


Fig. 369 - Abertura de vão de escada no pavimento.

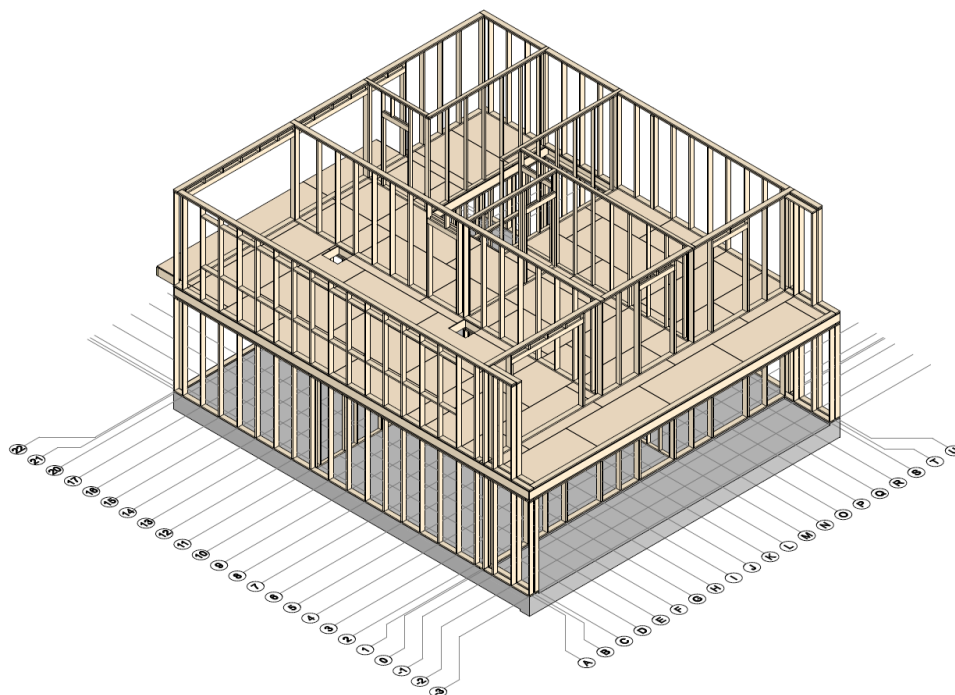


Fig. 370 - Axonometria estrutural com o piso térreo e as paredes do piso 1.

#### 5.2.1.11 DEFINIÇÃO DO TECTO DO PISO SUPERIOR (RETICULADOS)

A introdução de um pavimento estrutural (de vigotas) no tecto do piso 1 permite eventuais ampliações no futuro e proporciona um suplemento de travamento da estrutura permitindo também com facilidade funcionar como um suporte para os revestimentos de acabamento. Em coberturas com inclinações superiores a 1:3 (CMHC, 2013a, p. 123), na América do norte, o sótão é normalmente aproveitado como espaço habitável adicional. Perante a possibilidade de ampliação futura, o tecto do piso 1 deveria ser considerado em termos de dimensionamento, um pavimento, exigindo a mesma solução do pavimento do piso 1, com vigotas de 38x235mm de secção. No entanto verifica-se que depois de ser aberto o acesso ao sótão, cerca de 50% deste terá vigotas com vãos de cerca de 3m entre apoios, ficando os restantes 50% com vãos de 3,70m, em zonas de desvão que praticamente não são habitáveis devido ao pé direito reduzido. Sendo assim, preferiu utilizar-se uma secção de 38x184mm uma vez que esta permite cobrir vãos até 3,44m e é mais económica. Quando se proceder à ampliação, deverá em conjunto com a Engenharia de estruturas, avaliar-se a eventual necessidade de reforço. Nas situações em que se efectuem alterações adaptando um sótão

para habitação há normalmente necessidade de proceder a trabalhos de reforço da estrutura que podem consistir em introduzir montantes adicionais nos pisos inferiores, acrescentar painéis de revestimento estrutural ou efectuar pregagens de componentes com espaçamentos mais reduzidos.

Do ponto de vista da geometria e das direcções dos componentes optou-se por uma solução estrutural na continuidade da lógica do pavimento do primeiro piso, com as vigotas orientadas segundo a direcção perpendicular às empenas, mantendo-se o afastamento de 600mm entre vigotas e as sobreposições de 300mm nos apoios (cf. Figura 371).

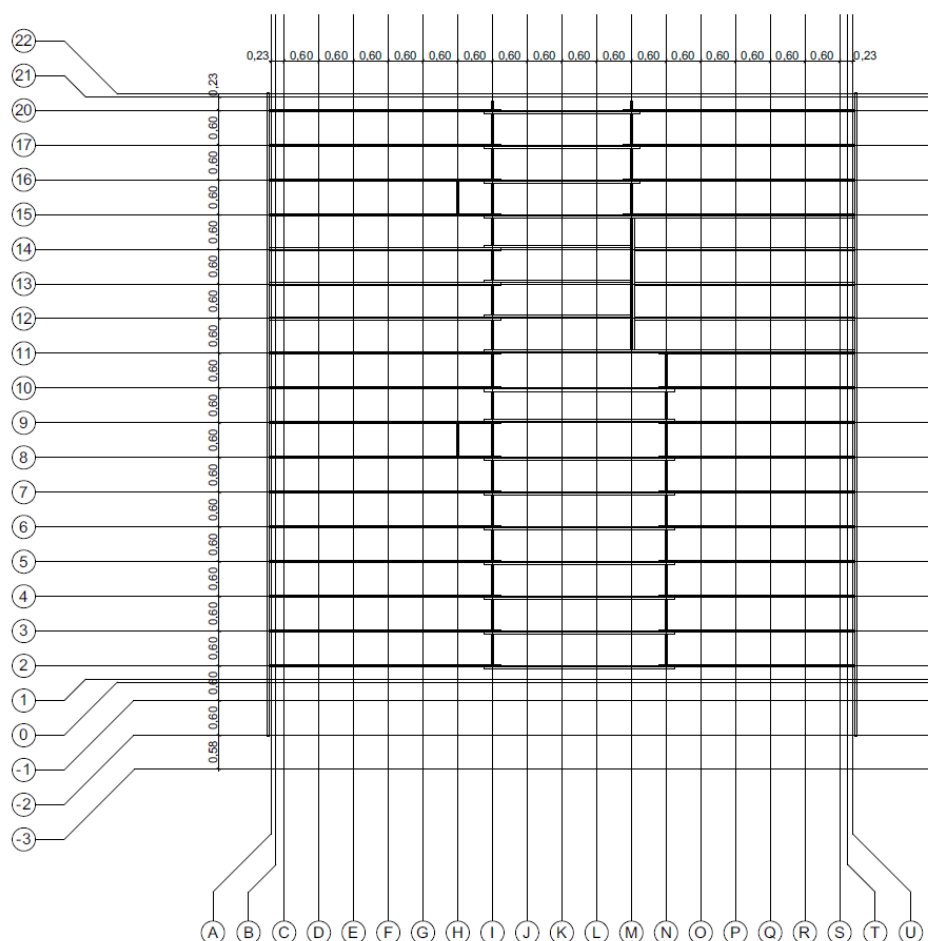


Fig. 371 - Estrutura do pavimento do tecto do piso 1 e grelha estrutural.

No caso de se ter considerado que não haveria necessidade de utilização futura do sótão, poderia ser seguida uma lógica diferente na definição das vigotas uma vez que o elemento estrutural considerado passaria a ser um tecto e não um pavimento. Consultando as tabelas (tabela 33 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 303), conclui-se que utilizando vigotas de tecto (*ceiling joists*) de Espruce, Pinho ou Abeto com 38x184 (2"x8") e um espaçamento de 600mm entre elas, se conseguiriam obter vãos até 5,11m. A utilização de vigotas com secção de 38x140mm permitiria vãos até 3,89m, cobrindo o vão máximo entre apoios que existe no piso superior (3,70m).



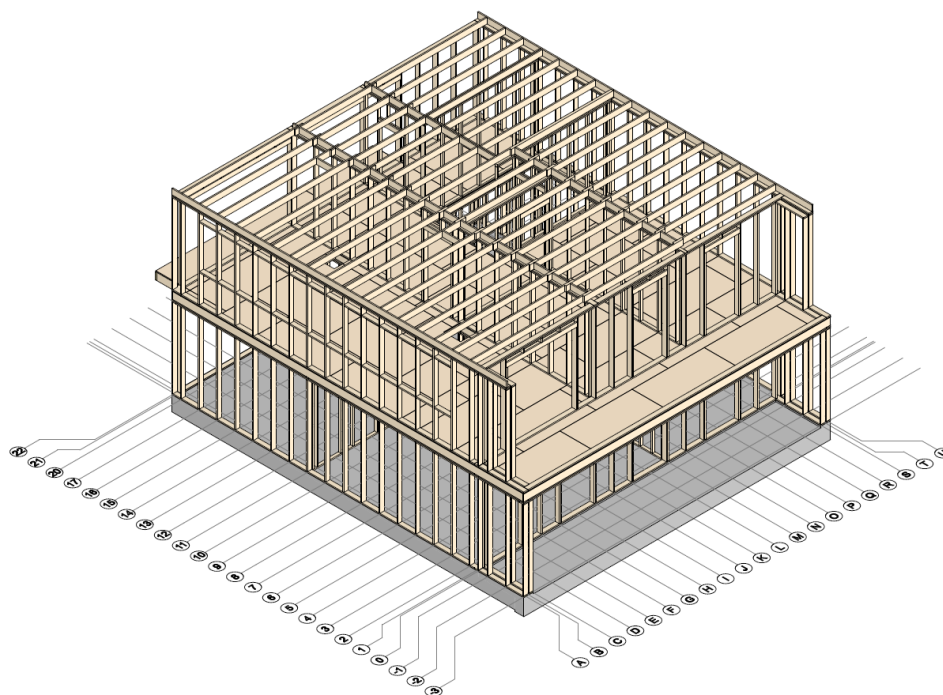


Fig. 372 - Axonometria estrutural com o piso térreo, as paredes e o tecto do piso 1.

#### 5.2.1.12 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES VERTICAIS (RETICULADOS)

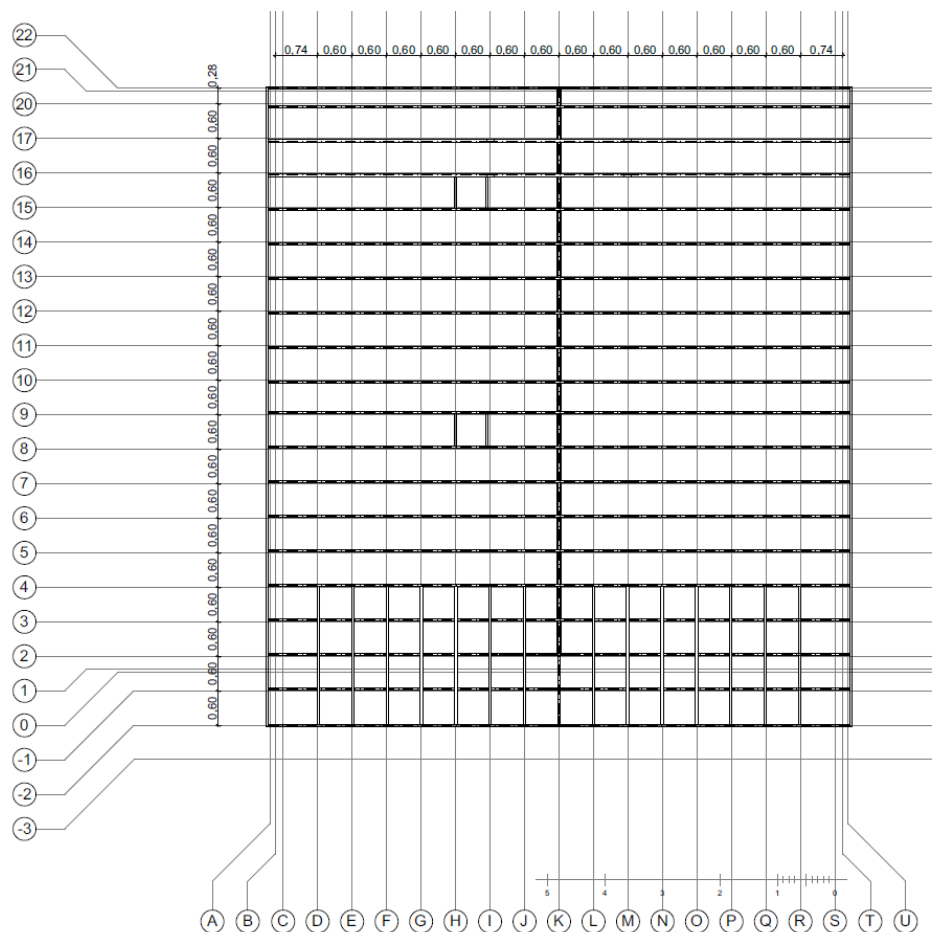
Para verificar as dimensões verticais da estrutura consultaram-se as tabelas de montantes que indicam a máxima dimensão permitida por piso. Consultando as tabelas (tabela 25 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 291), observa-se que os montantes de 38x140mm espaçados de 600mm permitem alturas de 3,00m para o piso inferior e 4,20m para o piso superior. Verifica-se que não surgem limitações para a solução proposta que prevê um pé direito de cerca de 2,60m.

Como medida de racionalização optou-se por utilizar componentes estruturais normalizados. Tomaram-se como referência para a definição das dimensões em corte e alçado, as cotas dos pavimentos sobre os quais se instalam as travessas de base, isto é, a laje de betão no piso térreo e o revestimento estrutural de OSB do primeiro piso. Se se escolhesse a dimensão de 3m de pé direito entre estas superfícies de referência deveriam ser adoptados montantes de 2,633m em ambos os pisos (descontando as dimensões dos componentes intermédios: uma travessa de pavimento, duas travessas de topo, uma viga de pavimento e uma chapa de OSB). Como os montantes normalizados disponíveis no mercado, com a dimensão mais próxima da referida têm 2,657m (104-5/8") optou-se por adoptar esta dimensão que requer um pé direito entre a laje de betão e a superfície superior do painel OSB de 3,024m. Esta definição que não modifica os pressupostos arquitectónicos contribui para a redução da produção de resíduos em obra e para uma optimização dos trabalhos através da redução dos cortes.

#### 5.2.1.13 DEFINIÇÃO DA COBERTURA (RETICULADOS)

As vigas de cobertura foram escolhidas de modo a coincidirem com o espaçamento de 600mm dos montantes dos pisos inferiores, ligando-se às vigas de tecto e às travessas de topo das paredes exteriores. Pretendia-se uma solução para vencer um vão do perímetro até à cumeeira de 4,92m (mais precisamente a projecção horizontal do vão). Consultando as tabelas (tabela 29 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 296), para as cargas de neve mínimas

O beirado projectado a sul exige uma solução especial, que é utilizada recorrentemente, embora com menores dimensões. Para efectuar este balanço foi definido um conjunto de vigotas em consola afastadas 600mm entre si, paralelas à cumeeira, ligadas a vigotas interiores, às travessas de topo da empena e à vigota perimetral que por sua vez está ligada à cumeeira e às paredes laterais (cf. Figura 373).



#### 5.2.1.14 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DAS PAREDES EXTERIORES (RETICULADOS)

463

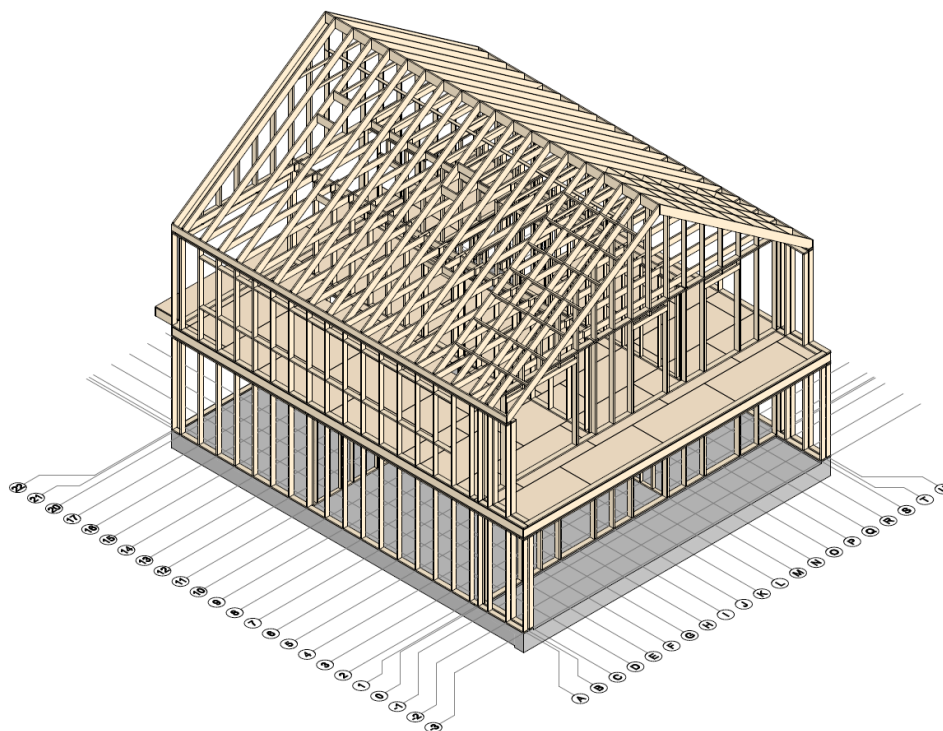


Fig. 374 - Axonometria estrutural com a montagem dos componentes leves de madeira maciça finalizada.

Optou-se por dispor os painéis de OSB na vertical com painéis inteiros dispostos ao nível do piso térreo, alinhados pela base e com painéis também inteiros alinhados pelo topo da fachada, preenchendo o espaço entre estas duas faixas com painéis cortados na dimensão vertical. Deste modo consegue-se cobrir com painéis as juntas ao nível dos pavimentos térreos e superior que são pontos sensíveis, e que devem ser especialmente protegidos. O início do primeiro painel, deve ser montado cerca de 1/2" abaixo da cota do pavimento de betão de modo a cobrir a junta entre este e a travessa de pavimento. As juntas verticais em cada fiada são alternadas como forma de aumentar as propriedades de contraventamento que os painéis acrescentam à estrutura (cf. Figura 375).

Para este caso de estudo poderiam ser escolhidos painéis de 2400mmx1196mmx9mm com bordos rectos (classe OSB3 para uso estrutural em ambiente húmido do tipo *Kronoply*) (Kronofrance, 2015). Na montagem deve prever-se uma junta de 2mm a 3 mm, entre painéis, para permitir a expansão do material.

#### 5.2.1.15 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS (RETICULADOS)

Para o pré dimensionamento do revestimento estrutural dos pavimentos consultaram-se as tabelas (tabela 22 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 287), obtendo-se um valor de espessura mínima de 18,25mm (23/22"). Perante este condicionamento poderiam utilizar-se painéis de 2440mmx1196mmx18mm com bordos rectos (classe OSB2 - uso estrutural em ambiente seco tipo *Kronoply*) (Kronofrance, 2015).

O planeamento da distribuição dos painéis é realizada de modo a aproveitar o maior número de placas inteiras e reduzindo e aproveitando o maior número de peças cortadas. As placas são distribuídas com a maior dimensão perpendicular à direcção das vigas e com os lados menores sobre as vigas para receberem a pregagem mais importante. Em princípio os painéis de pavimento terão um encaixe do tipo macho-fêmea. No caso de serem utilizadas placas sem encaixe, deve ser colocado um perfil de madeira sob as arestas do lado maior das

placas para efectuar uma pregagem adicional (cf. Figura **Error! Reference source not found.**).

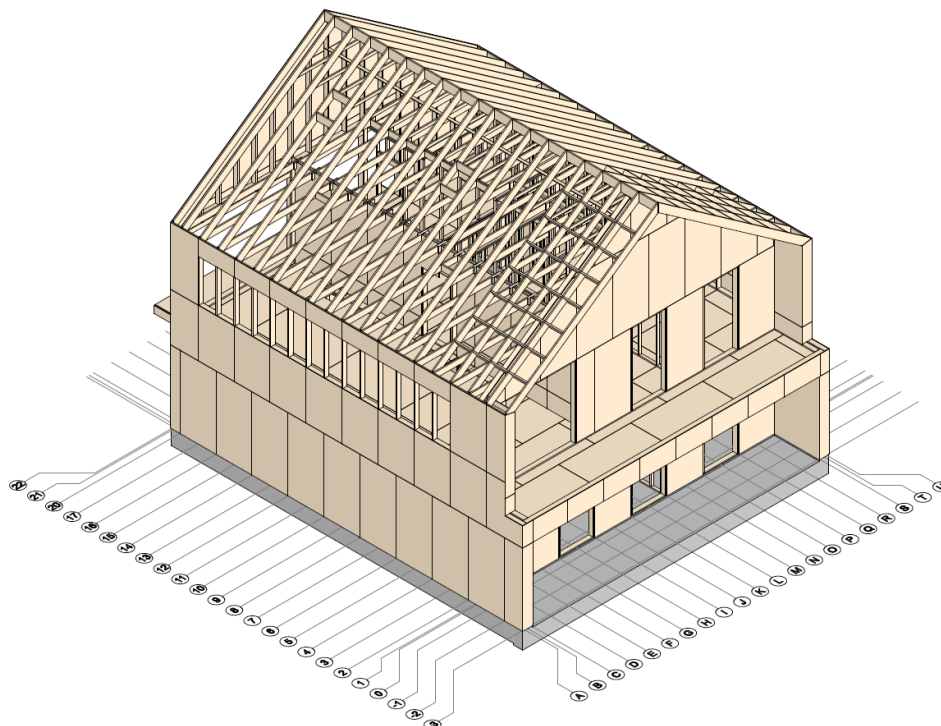


Fig. 375 - Axonometria com o revestimento estrutural das paredes exteriores em painéis OSB.

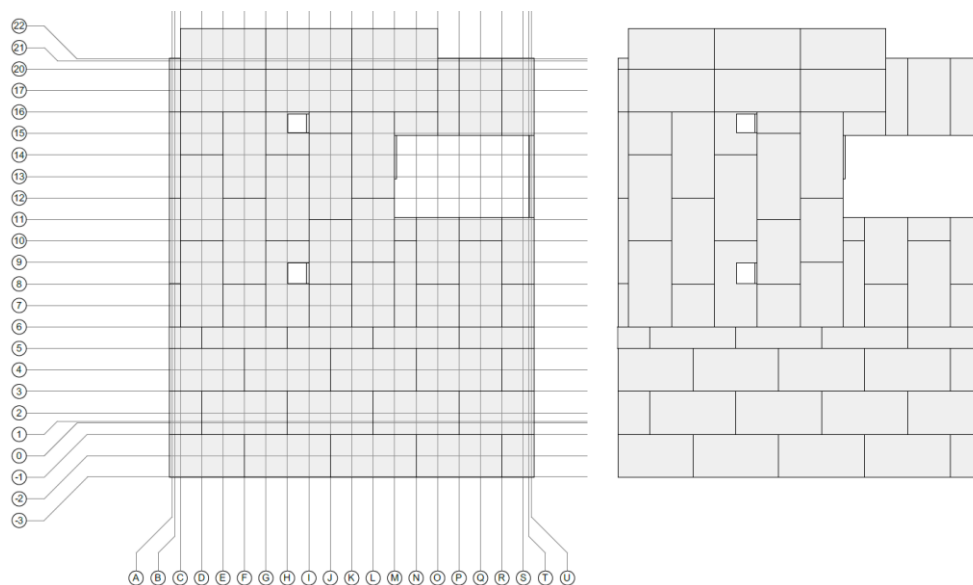


Fig. 376 - Plantas do piso 1. Distribuição otimizada dos painéis de revestimento estrutural do pavimento em painéis OSB.

#### 5.2.1.16 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DA COBERTURA (RETICULADOS)

Para o revestimento estrutural da cobertura consultaram-se as tabelas (tabela 35 do Manual CWC) (CMHC, 2013a, p. 305), obtendo-se para um espaçamento das vigas de 600mm, uma espessura mínima de 9,5mm (3/8") assumindo que os topos são suportados com grampos (H-clips). Poderiam então ser utilizados painéis de 2400mmx1196mmx11mm com bordos rectos (classe OSB2 para usos estrutural em ambiente seco tipo Kronoply) (Kronofrance, 2015). Se



se optasse pelo revestimento de *shingles* de asfalto, que é uma solução muito comum no Canadá e nos EUA, seria aconselhável utilizar contraplacado, por exemplo de 12,5mm (1/2").

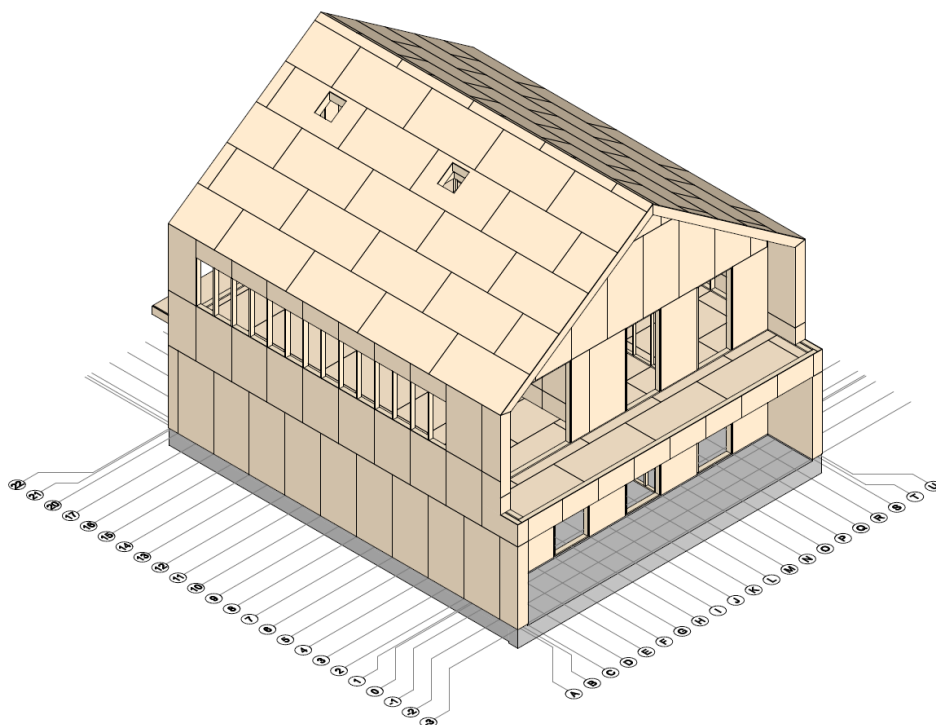


Fig. 377 - Axonometria. Revestimento completo com revestimento estrutural em painéis OSB.

#### 5.2.1.17 REVESTIMENTOS INTERIORES (RETICULADOS)

No pavimento do piso térreo propõe-se um acabamento final com mosaicos cerâmicos com 10mm de espessura. No pavimento do piso superior opta-se por régua de madeira maciça de 100mm de largura e 20mm de espessura aplicado directamente sobre as placas de OSB. Para os revestimentos de compartimentação e da envolvente utilizou-se a solução mais comum: os painéis de gesso cartonado, aplicados directamente sobre os montantes nas paredes interiores e exteriores. Nos tectos aplicam-se também painéis de gesso cartonado aplicados sobre uma estrutura de sarrafos de 19mmx89mm (1"x4") (CMHC, 2013a, p. 227). As placas de gesso cartonado têm uma dimensão de 1200mmx2700mm e uma espessura de 12,7mm (1/2") (KNAUF, 2015) permitindo assim compatibilizar a malha horizontal dos montantes de madeira. Nas paredes dos compartimentos com ambientes húmidos deverá recorrer-se a placas de fibras de celulose e gesso, tipo Fermacell.

#### 5.2.1.18 ENVOLVENTE (RETICULADOS)

A constituição da envolvente deve ser equacionada ponderando as exigências estruturais, térmicas, de estanquidade e durabilidade, para além da economia e dos factores estéticos.

Para o revestimento de acabamento das paredes exteriores propõe-se o recurso a perfis (macho-fêmea) de madeira de pinho termo-modificada, com secção de 117mmx19mm pregados, dispostas na horizontal, sobre uma estrutura de sarrafos de 25mmx40mm dispostos na horizontal, conforme as indicações do fabricante (Banema, 2015). Segundo as exigências definidas pelo fabricante, a caixa-de-ar deve ter o mínimo de 25mm, os perfis deverão ser afastados cerca de 30cm do solo, a face com a madeira mais interior do cerne deve ser orientada para o exterior, recomendando-se uma projecção da cobertura com um

mínimo de 30mm, mas aconselhando-se 600mm. A camada seguinte é constituída por uma membrana sintética transpirante, com as funções de vedação à água e ao ar, tipo Transpir 95 (Rothoblaas, 2015) que deverá cobrir toda a envolvente pelo exterior. A tela é fixada às placas de OSB (9mm) que por sua vez estão fixadas nos montantes (com 140mm de profundidade) cujos espaços serão preenchidos com isolamento térmico de lã de rocha. Consegue-se otimizar o material para instalação nos vazios entre os montantes das paredes exteriores se forem utilizados os painéis de lã de rocha disponíveis no mercado 584x1194mm e com 140mm de espessura (KNAUF, 2015). O revestimento interior será em painéis de gesso cartonado pregados directamente na estrutura de montantes, recorrendo-se a painéis com melhores características de estanquidade - de fibras de celulose e gesso, tipo Fermacell - nos compartimentos onde a presença de humidade e a possibilidade de salpicos pode proporcionar a migração de humidade para os elementos estruturais.

Uma parede exterior com as características definidas tem uma espessura de 206mm e apresenta um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,35 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ <sup>288</sup>. Se fosse necessário efectuar uma correcção térmica, poderia prever-se uma camada adicional de isolamento térmico pelo exterior das placas de OSB com 25mm de XPS, obtendo-se deste modo uma espessura de parede de 231mm e um valor de  $U=0,29 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ . Em alternativa a utilização de uma camada de isolamento térmico de lã de rocha de 25mm pelo interior (sob os painéis de gesso) daria origem à mesma espessura de parede (231mm) e um valor de  $U=0,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ .

O revestimento dos pavimentos interiores deve potenciar o contributo da massa térmica da laje. Propõe-se assim, a aplicação de pavimento cerâmico de 10mm de espessura sobre uma betonilha de regularização de 50mm, sobre uma laje com 100mm que, como já foi referido, deve ser instalada sobre uma tela de isolamento contra a humidade e sobre uma camada de isolamento térmico de XPS com 5cm (2”), sobre cerca de 10cm de gravilha (Thalon, 2009, p. 25). Esta solução terá um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,29 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ . Para obter um valor próximo do valor de referência  $U=0,50 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ , bastaria recorrer a uma espessura de isolamento térmico de 15mm, obtendo-se neste caso um  $U=0,48 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ .

Propõe-se para revestimento de acabamento exterior da cobertura um revestimento em chapa metálica com junta agrafada com 0,7mm de espessura tipo *Rheinzinc* (Rheinzinc, 2015), instalado segundo as especificações do fabricante sobre uma tela estruturada estanque respirante assente sobre a chapa de OSB. Deverá haver uma caixa-de-ar entre as placas de OSB e o isolamento térmico (com cerca de 80mm) que será colocado entre as vigotas de cobertura e finalmente será instalado o acabamento em painéis de gesso com uma barreira de vapor entre estes e as vigotas (Rheinzinc, 2015). Esta opção vai ao encontro do sistema de isolamento da envolvente definido para as paredes exteriores, prevendo o isolamento térmico entre os elementos estruturais. Para o isolamento térmico é recomendável recorrer-se também à lã de rocha em painéis de 584x1219mm, com 155mm de espessura.

A opção por um acabamento em chapa metálica tem vantagens relacionadas com a sua leveza, um tempo de vida médio com cerca de 30-50 anos e um custo médio em relação às soluções mais comuns. As soluções mais duráveis como as telhas cerâmicas e as ardósias são mais caras e mais pesadas e as soluções mais económicas como as *shingles* de asfalto têm um tempo de vida inferior (Wing, 2009, p. 250).

<sup>288</sup> Cálculo efectuado com o programa BuildDesk U3.4. Segundo a portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Dezembro, valor dos coeficientes térmicos de referência de elementos opacos verticais na zona climática mais desfavorável a partir de 2015 são de 0,40 para a zona I1, 0,35 para a zona I2 e 0,30 para a zona I3.

A solução proposta para a cobertura teria uma espessura final de 273mm e um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,25 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ . Poderia ser considerada uma solução alternativa com isolamento térmico pelo exterior da estrutura. Neste caso, a chapa com juntas agrafadas seria instalada sobre uma tela estruturada estanque respirante (VAPOZINC), com 0,8mm, sobre o uma camada de isolamento de poliuretano com 0,85mm aplicado em duas camadas que assentaria sobre as placas de OSB. Pelo interior das vigotas de cobertura seria montado um tecto de painéis de gesso cartonado. Neste caso, o coeficiente de transmissão térmica seria igual ao da solução anterior, mas seriam reduzidas as pontes térmicas e aumentada a espessura total para 358mm.

## 5.2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE RETICULADOS LEVES

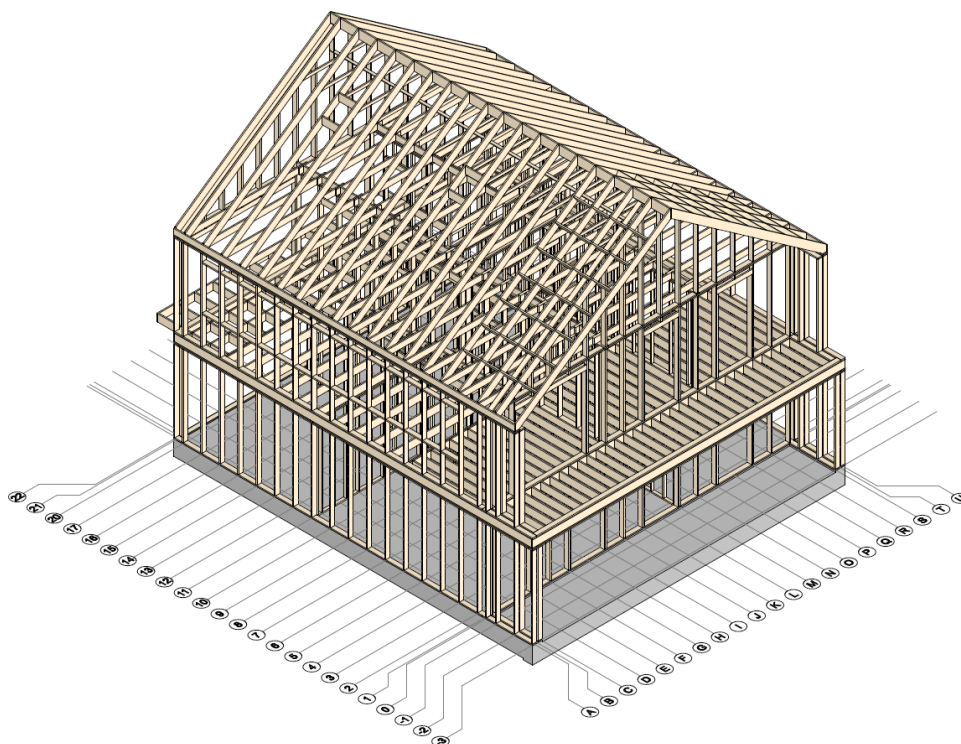


Fig. 378 - Axonometria da estrutura completa de reticulados leves sem os painéis de revestimento estrutural.

Do ponto de vista do caso de estudo, pode ser efectuada uma avaliação do sistema construtivo com base nos seguintes factores:

1. Integração do tipo estrutural nas pré-definições do modelo formal.
2. Limitações dimensionais da estrutura.
3. Limitações do ponto de vista da durabilidade.
4. Simplicidade/Complexidade do sistema global.

### 5.2.2.1 ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE RETICULADOS AO MODELO FORMAL

A adaptação do tipo estrutural à solução formal não conduziu a alterações significativas das dimensões espaciais do modelo formal pré-definido. No entanto a introdução de uma grelha estrutural disciplinadora da estrutura exige pequenas alterações e adaptações.

A adaptação do tipo estrutural não conduziu a alterações significativas das características simbólico-arquitectónicas do modelo formal pré-definido. No entanto algumas soluções

particulares foram modificadas para haver uma maior consonância entre as possibilidades do sistema e as opções arquitectónicas. O vão exterior da empena Oeste por exemplo, originalmente amplo, passou a ser fragmentado por montantes.

O tipo estrutural em si não suscita detalhes arquitectónicos singulares nem inspira soluções de ambientes relacionados com o potencial expressivo da estrutura.

As possibilidades de variação formal são amplas uma vez que os reticulados consistem num sistema revestido, não havendo um condicionamento expressivo por parte dos seus componentes.

A flexibilidade do sistema formal em termos volumétrico-espaciais é limitada quando se trata de obter soluções com varandas e consolas a partir de uma determinada dimensão (1,00m - 1,55m), mas não oferece dificuldades ao nível das dimensões dos espaços interiores.

A flexibilidade do sistema em relação aos detalhes (ou seja detalhes mais depurados ou tradicionalistas, com molduras e remates) é mediantemente limitada uma vez que as ligações dos componentes exige detalhes específicos nomeadamente ao nível das janelas, portas e elementos de cobertura. A opção por detalhes mais consonantes com soluções modernas e contemporâneas tem normalmente custos a nível de durabilidade. A adopção de medidas naturais de durabilidade conduz à opção natural por soluções mais tradicionais.

#### 5.2.2.2 LIMITAÇÕES DIMENSIONAIS DA ESTRUTURA (RETICULADOS)

As limitações dimensionais verificam-se principalmente ao nível das varandas e consolas, conduzindo a soluções pouco económicas devido à necessidade de recorrer a vigotas com espaçamentos reduzidos entre si, aumentando assim o seu número.

As limitações que surgem nas situações reais são normalmente resolvidas com a introdução de materiais estruturais alternativos como os componentes Glulam, os derivados de madeira e as estruturas metálicas para situações mais arrojadas.

O sistema com os componentes simples permitem vãos até aos 4,00m ou 5,00m metros (dependendo não só das secções das vigotas mas também do afastamento entre elas), no entanto utilizando vigas do tipo I Joist podem-se atingir vãos de 6,00m ou mesmo 7,00m.

#### 5.2.2.3 LIMITAÇÕES DO PONTO DE VISTA DA DURABILIDADE (RETICULADOS)

Sendo um sistema com muitos elementos lineares, as juntas e as ligações multiplicam-se em todo o projecto. Várias situações suscitam problemas não só de durabilidade mas também de integridade: a penetração de vigas do exterior para o interior; o detalhe da intersecção da varanda com a fachada; os montantes aparentes no terraço Oeste e o beirado da cobertura.

A solução escolhida apresenta problemas de durabilidade que resultam não do sistema em si, mas da concepção arquitectónica. Deve ser efectuada uma crítica ao modelo formal desenvolvido uma vez que a forma adoptada em alguns aspectos, não proporciona as soluções mais duráveis. Seriam recomendadas, por exemplo, projecções na cobertura a norte, nascente e poente, bem como caleiras e tubos de queda. São também factores de risco adicionais a existência de uma varanda, de uma pala e de um *deck*, ainda que coberto.

#### 5.2.2.4 SIMPLICIDADE/COMPLEXIDADE DO SISTEMA (RETICULADOS)

O sistema mostra-se simples na sua lógica apesar da multiplicidade de componentes construtivos. Com base num manual prescritivo é possível realizar um pré-dimensionamento da estrutura, embora surjam naturalmente dúvidas que devem ser colocadas à equipa de Engenharia de estruturas. Apesar da facilidade com que se compreende o sistema, a

necessidade de recorrer a camadas não homogêneas de construção, devido às exigências de comportamento térmico, obriga a equacionar níveis diversos de materiais cujo comportamento, nomeadamente relativamente às possibilidades de condensação no interior dos componentes, tem que ser analisado em detalhe.

Uma das vantagens deste sistema tem a ver com a facilidade com que qualquer pessoa com um conhecimento mínimo e com as ferramentas básicas consegue efectuar a sua montagem, reparações e alterações.

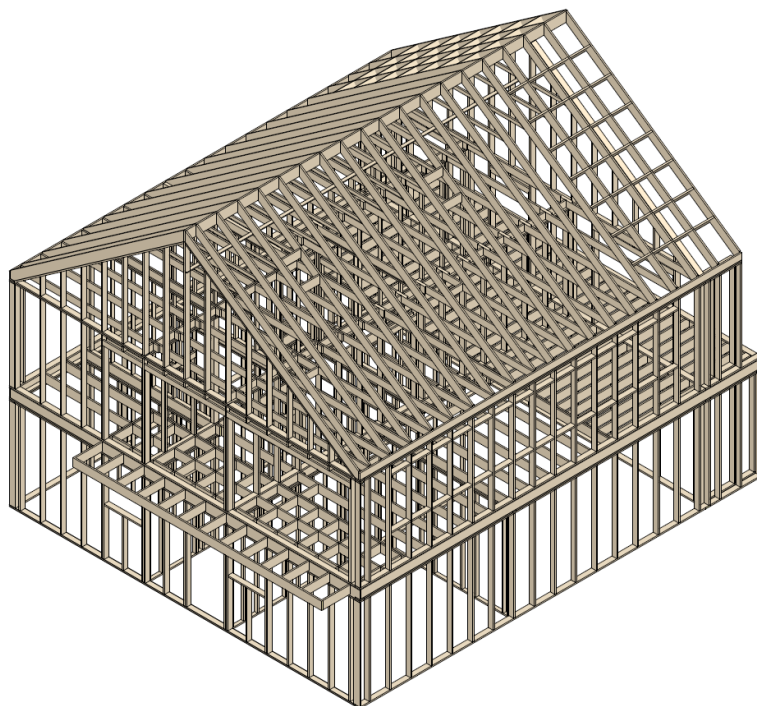


Fig. 379 - Axonometria noroeste da solução estrutural de reticulados leves.

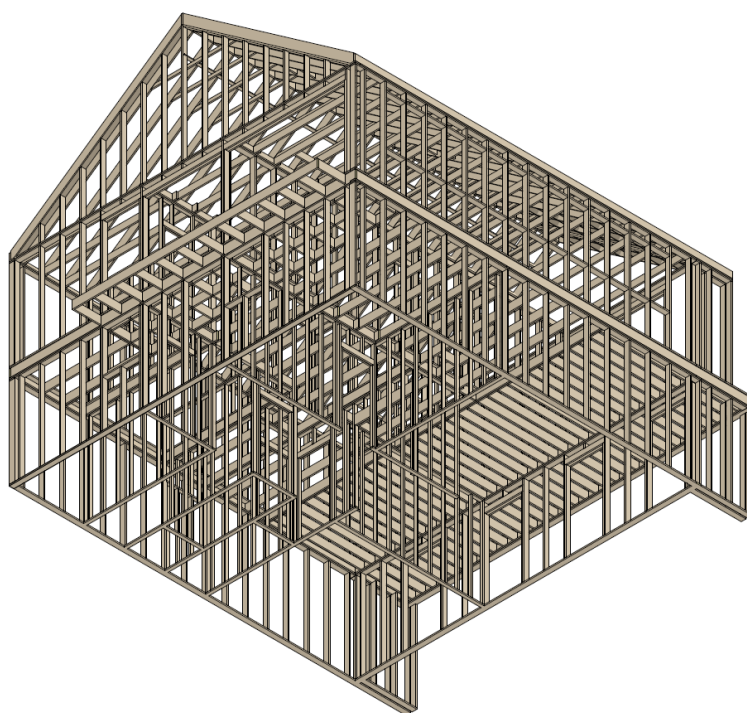


Fig. 380 - Axonometria noroeste da solução estrutural de reticulados leves.



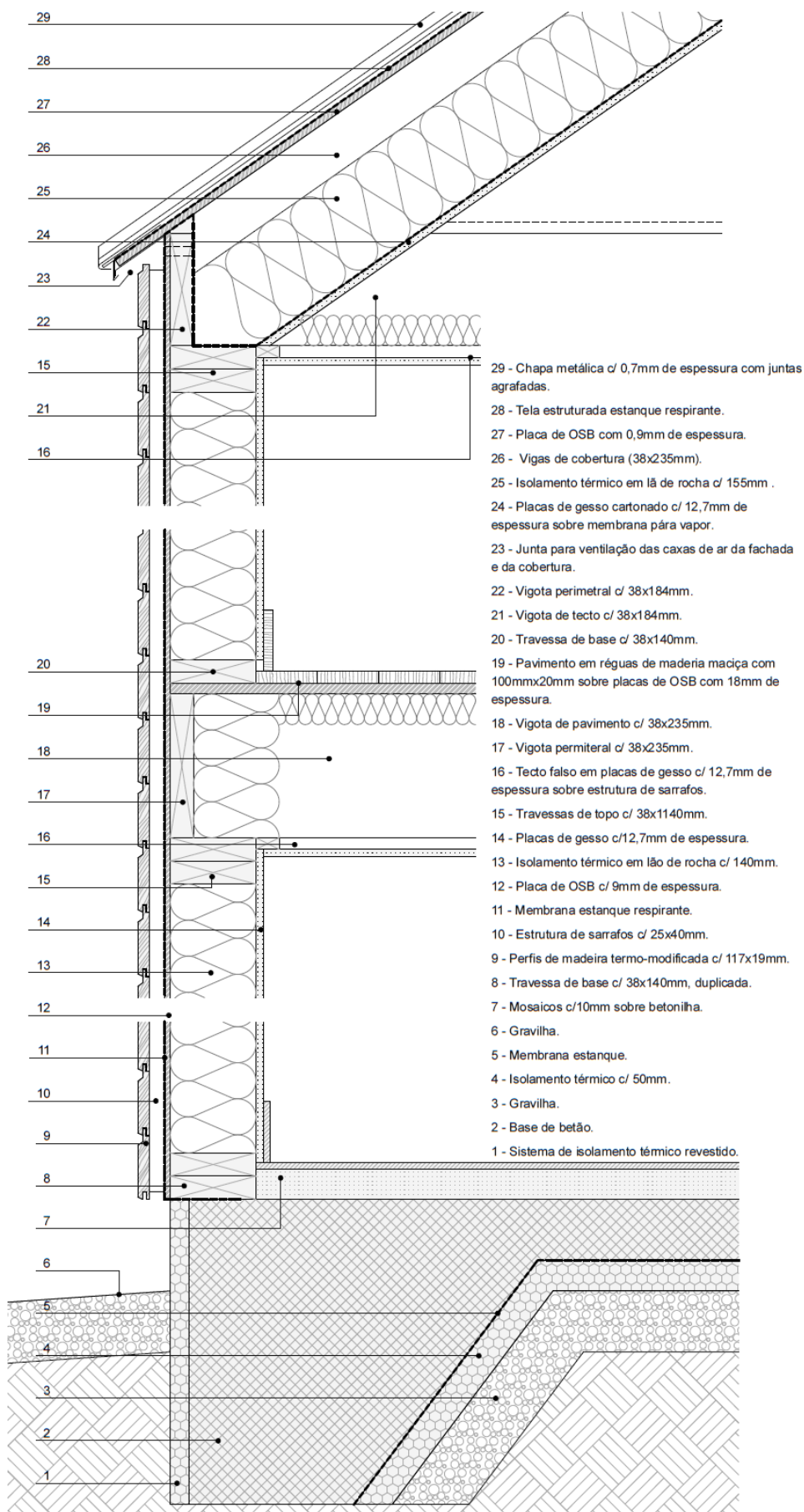


Fig. 381 - Corte construtivo pela fachada da solução com reticulados leve.

## 5.3 PROJECTO COM PORTICADOS

### 5.3.1 CASO DE ESTUDO (Porticados)



Fig. 382 - Perspectivas da solução desenvolvida em referência ao sistema formal, a utilizar no caso de estudo.

Conforme referido para o caso de estudo anterior, a tarefa principal desta fase (caso de estudo) consiste em adaptar o tipo estrutural ao projecto arquitectónico desenvolvido previamente. O segundo tipo estrutural testado neste capítulo é o dos porticados de pilar-viga.

A diferenciação que se adoptou entre os vários tipos do sistema construtivo (tipos funcionais, espaciais, simbólicos, estruturais, de envolvente e de compartimentação), embora não seja estanque, é mais evidente nos sistemas de porticados uma vez que há uma maior independência entre o tipo estrutural e o tipo da envolvente.

#### 5.3.1.1 SISTEMA CONSTRUTIVO (PORTICADOS)

Das diversas versões de porticados que poderiam ser utilizadas optou-se pelo caso genérico de uma solução estrutural de pilares e vigas com componentes de madeira maciça serrada sobre fundações de betão e integrando ligadores metálicos entre componentes. Na elaboração do caso de estudo tomou-se parcialmente como referência o processo de projecto genérico dos porticados tipo “timber frame” corrente na América do Norte devido à informação disponível sobre as técnicas e processos, mas também devido à vasta experiência e apuramento de soluções que têm a vir a ser aplicadas no domínio da habitação unifamiliar. Não se considerou no entanto relevante considerar essa referência em todos os seus aspectos, nomeadamente os que se são respeitantes aos detalhes das ligações tradicionais do tipo madeira-madeira bem como a um conjunto de outras opções que acentuam o carácter tradicional e local do sistema como o uso de escoras e de componentes com acabamentos toscos. Para as soluções de pré-dimensionamento optou-se por seguir as indicações e regras constantes principalmente em alguns manuais europeus (Kolb, 2008) (Bignon & Critt-Crai, 2003), para além da observação de soluções correntes na América do Norte.

As estruturas porticadas são normalmente montadas em obra a partir dos componentes já pré-cortados sendo apenas necessário efectuar a sua montagem nas posições especificadas e executar as ligações entre componentes adjacentes. Frequentemente a estrutura é testada em fábrica, através da sua pré-montagem e desmontagem. Outros sistemas como os de painéis pesados e painéis leves são mais eficazes que os porticados pela redução do número de operações que se obtém com a integração da envolvente e da estrutura num só sistema. Uma vez que o tipo estrutural terá sempre que ser complementado com o tipo da envolvente e da compartimentação, a sua eficácia em termos de prazo de construção dependerá da eficácia destes dois sistemas.

### 5.3.1.2 COMPONENTES E ELEMENTOS CONSIDERADOS (PORTICADOS)

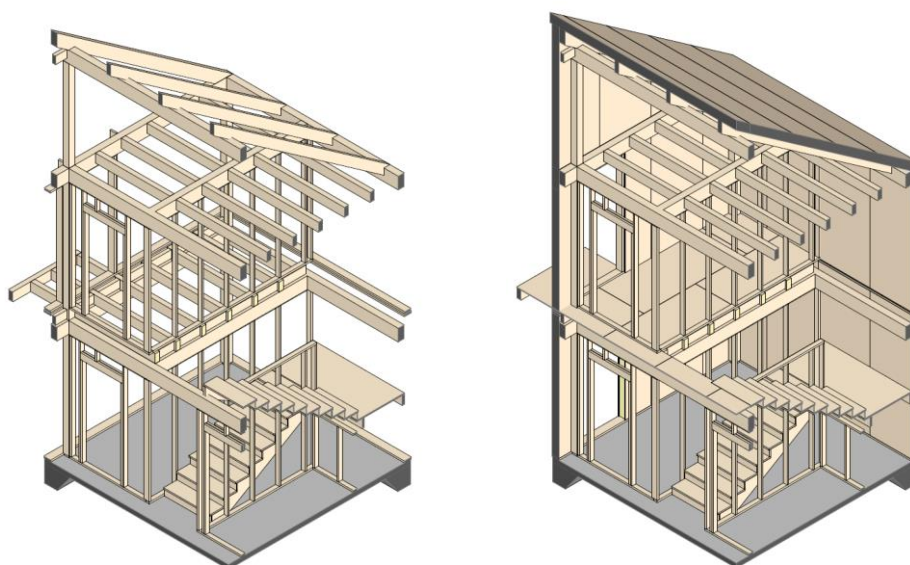


Fig. 383 - Tipo estrutural principal e Tipo estrutural com integração da envolvente em painéis sanduiche (SIP).

Como ponto de partida entendeu-se que das várias opções possíveis se deveria optar por uma solução que integrasse uma laje simples de betão armado no piso térreo, paredes da envolvente em painéis sanduiche tipo Structural Insulated Panel (SIP) no exterior da estrutura, e paredes interiores com componentes reticulados leves de madeira com secção de 38x89mm. Para os pavimentos, tectos e cobertura optou-se por elementos de madeira com vigas secundárias assentes sobre as vigas principais. Em alternativa poderia ter-se optado por soluções ligeiras de madeira maciça, vigas do tipo I-joist, decks estruturais ou mesmo painéis SIP, podendo ainda ter-se recorrido às asnas pré-fabricadas. Para os revestimentos estruturais de pavimentos utilizaram-se as placas de OSB por ser a solução mais usual com pavimentos de vigas primárias e secundárias. Poderia ter-se optado neste caso também por pavimentos estruturais com régua de madeira maciça (deck estrutural). Para os revestimentos interiores de paredes e tectos adoptaram-se os painéis de gesso cartonado.

Os revestimentos de acabamento de pavimentos interiores são cerâmicos no piso térreo e de madeira maciça no piso superior. Para o isolamento térmico, telas de protecção da envolvente e para os revestimentos de acabamento exteriores e interiores, dada a enorme diversidade de soluções possíveis e uma vez que as questões levantadas por cada produto, do ponto de vista da física das construções, é muito especializada, são apontadas aquelas que genericamente se consideram correntes em associação com os componentes utilizados.

#### 5.3.1.3 GRELHA ESTRUTURAL (PORTICADOS)

As grelhas estruturais normalmente adoptadas para os sistemas de reticulados leves variam entre os 3,00m e os 5,00m. As estratégias de definição da grelha variam em função do processo de projecto adoptado e das condicionantes que antecedem as definições estruturais. Quando no processo de concepção se conta apenas com a condicionante de um perímetro de construção, sem haver uma solução arquitectónica prévia, as escolhas racionais deveriam incidir sobre grelhas de construção uniformes, como as que são propostas por Kolb, com 2,50x2,50m, 2,50x5,0m, ou 5,00x5,00m (Kolb, 2008). Estas grelhas regulares e estas dimensões teriam a vantagem de permitir uma coordenação dimensional com os restantes componentes de construção assumindo que estes têm por base um módulo de 1250mm.



Uma vez que os sistemas porticados não colocam grandes constrangimentos espaciais, a adaptação da Arquitectura à estrutura é sempre viável. Apesar desta flexibilidade, tal como é assinalado nos manuais das estruturas “timber frame” americanos, as grelhas estruturais devem ser definidas de modo a coincidirem com definições espaço-funcionais, pelo menos quando se pretende obter uma solução arquitectónica coerente.

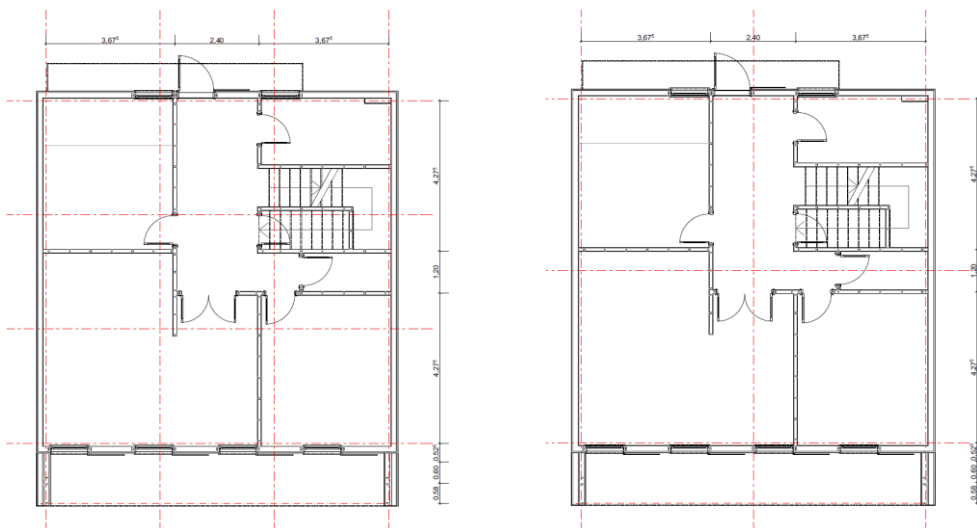


Fig. 384 - Plantas de compartimentação e teste de sobreposição de grelhas regulares de 5,00mx5,00m e de 3,30mx3,30m.

Neste caso de estudo optou-se por adaptar a estrutura às definições espaciais de modo a que os vãos estruturais coincidissem tanto quanto possível com os vãos definidos pela compartimentação dos espaços interiores. A grelha resultante é por isso irregular, embora se proponha uma simetria axial, com vantagens em termos da repetição dos elementos estruturais (vigas principais e vigas secundárias) que daí resulta. A possibilidade de utilizar grelhas estruturais regulares de dois, três ou quatro vãos por fachada foi equacionada, embora o desfaseamento entre as linhas de estrutura e as linhas de compartimentação espacial conduzissem a soluções arquitectónicas com uma clara divergência entre espaço e estrutura (cf. Figura 384). A opção por adequar a compartimentação a qualquer uma dessas grelhas revelou-se também inviável. Assim, a grelha resultante compreende quatro vãos de 4,28x3,68m, dois vãos de 3,68x1,20m, dois vãos de 4,28x2,40m e um vão de 2,40mx1,20m (cf. Figuras 385 e 386).

O posicionamento dos elementos estruturais do perímetro em relação à envolvente exigiu também uma escolha entre as duas opções mais lógicas, excluindo-se à partida a que contempla o uso da estrutura pelo exterior, pelas desvantagens que daí decorrem em termos de durabilidade e de fragilidades em termos de comportamento térmico. Assim, a escolha colocava-se entre a integração da estrutura na envolvente e a colocação da estrutura na face interior da envolvente. Escolheu-se a segunda opção porque do ponto de vista da Arquitectura é a que permite que mais componentes estruturais sejam vistos no interior, incluindo os pilares de canto e as vigas de perímetro. Esta escolha é também reforçada pelas vantagens em termos de redução das pontes térmicas na envolvente e de uma maior protecção da estrutura relativamente a entradas de água acidentais ou penetrações de humidade através da cobertura e das paredes exteriores. Por fim, considera-se que uma estrutura com o maior número de componentes à vista pelo interior tem a vantagem de poder ser objecto de inspecção constante. Em soluções arquitectónicas com uma envolvente mais envidraçada, a estrutura localizada no plano da envolvente será uma escolha coerente.

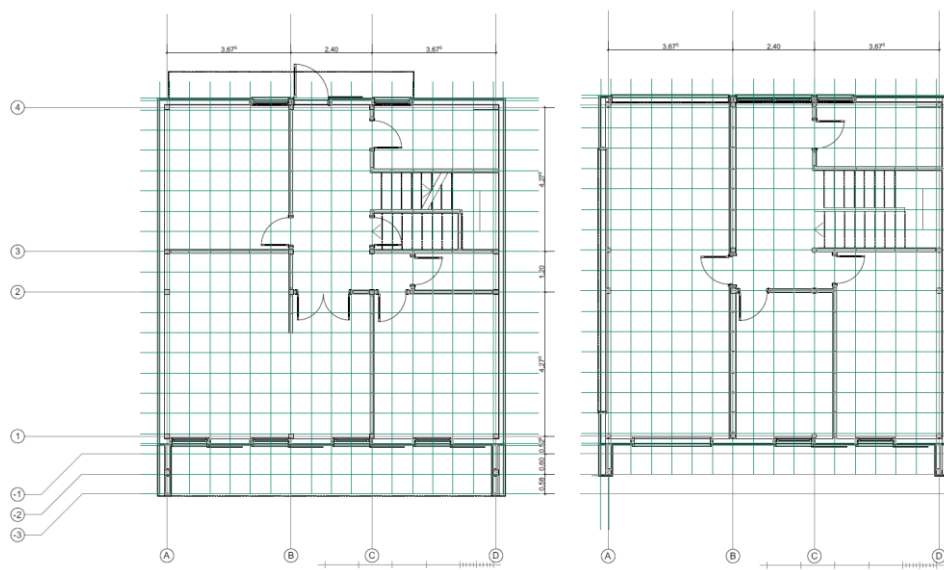


Fig. 385 - Plantas do Piso 0 e Piso 1 - Integração Arquitectura-Estrutura.

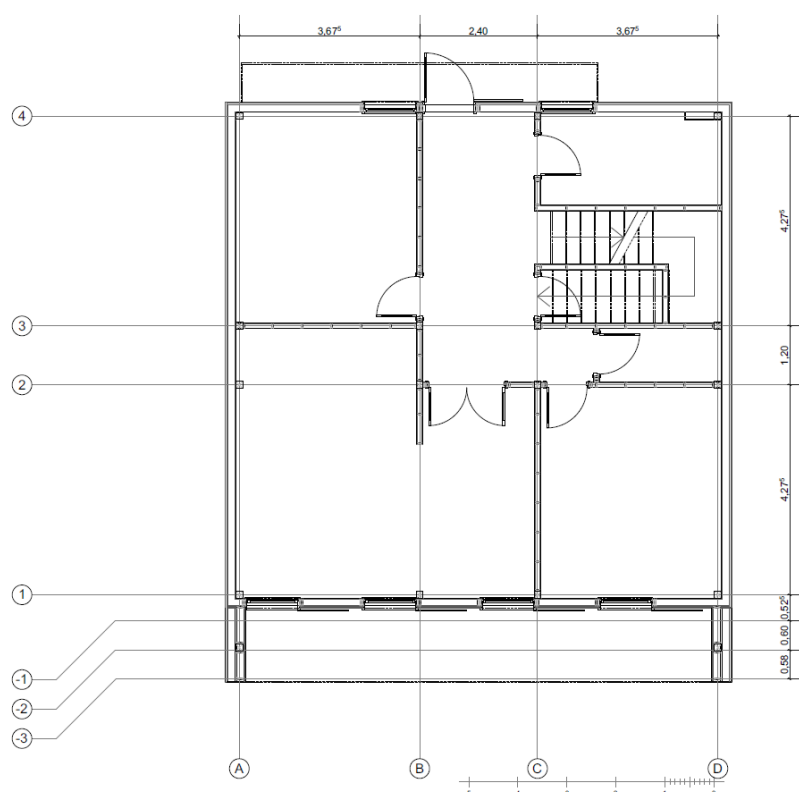


Fig. 386 - Planta do piso 0. Grelha estrutural adoptada e compartimentação interior.

Das tentativas de adaptação das grelhas estruturais à compartimentação espacial previamente definida resulta claro que pelo menos em projectos de reduzidas dimensões não é fácil compatibilizar o desejo de fazer coincidir a estrutura com os elementos de compartimentação e ao mesmo tempo obter uma grelha estrutural regular (isto é, com todos os vãos uniformes). As possibilidades ensaiadas no sentido de alterar a compartimentação conduziam sempre a soluções arquitectónicas deficientes em termos funcionais. Por outro lado, a opção de não fazer coincidir a estrutura com as principais linhas da compartimentação só seria desejável quando a opção arquitectónica contemplasse a ocultação dos elementos estruturais, principalmente das vigas principais. Concluiu-se no entanto que esta última opção não se justificava nem do ponto de vista formal nem do ponto de vista construtivo.

A implantação da estrutura não tem consequências notáveis na organização funcional, sendo apenas de assinalar dois aspectos pouco relevantes. No primeiro caso, o pilar de perímetro adjacente às fachadas norte e nascente surge no canto das instalações sanitárias, próximo da banheira. Aqui opta-se por integrar e proteger o pilar numa courete que inicialmente estava prevista na parede oposta. O segundo aspecto refere-se à necessidade de alterar a posição da porta do quarto de menor área do piso superior devido à colisão com a posição de um dos pilares. Estas alterações são consideradas de pouca relevância, não colocando em causa a solução funcional.

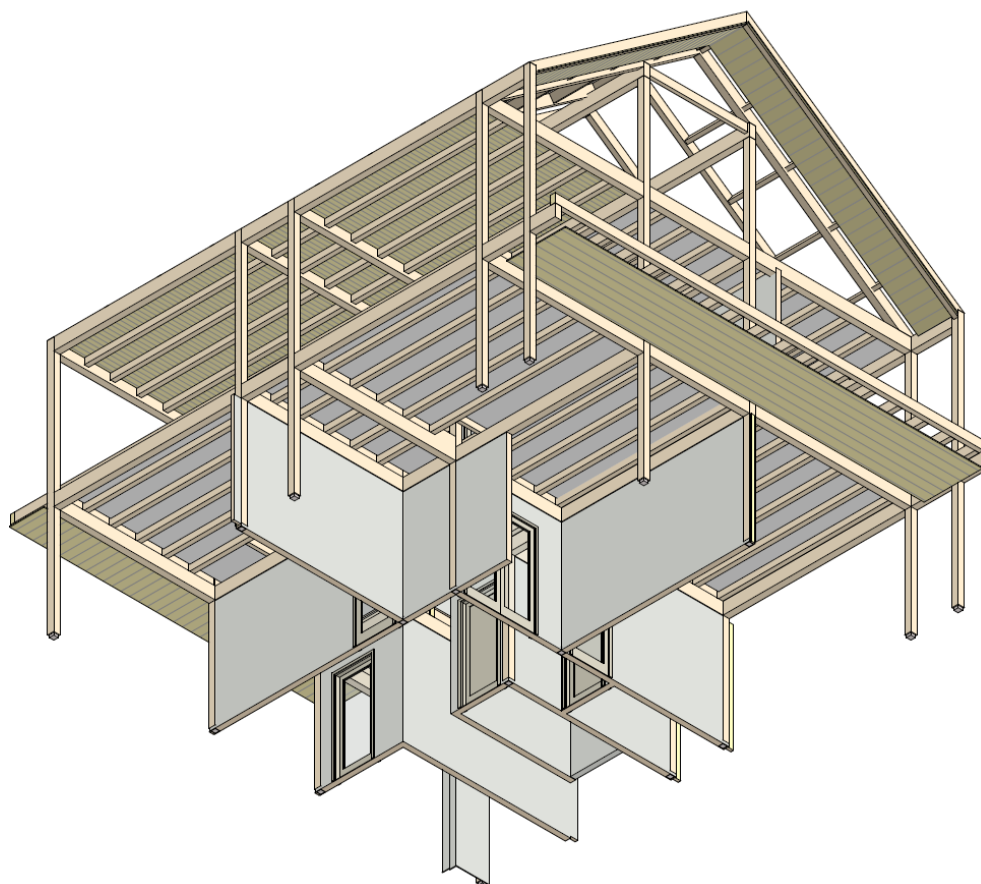


Fig. 387 - Axonometria interior mostrando a conjugação entre compartimentação e estrutura.

#### 5.3.1.4 PAVIMENTO TÉRREO (PORTICADOS)

Nesta fase, a informação do tipo de solo (argila, sedimentar, granulados grosseiros ou rocha), bem como a consulta à Engenharia de estruturas seriam tarefas necessárias para informar a solução a escolher para o pavimento térreo. No caso de estudo, o pavimento térreo e as fundações têm apenas um interesse marginal, pelo que se adopta uma solução genérica semelhante à adoptada na anterior solução de reticulados leves.

Foi assim considerada uma laje de betão armado por se considerar que é uma solução de simples execução em moradias sem cave e com algumas vantagens em relação à solução de pavimento térreo em estrutura de madeira sobre espaço de serviço. Ainda que uma solução de pavimento térreo em estrutura de madeira recorresse a mais componentes renováveis e recicláveis, o betão não deixaria de estar presente nas fundações e teriam que ser contemplados mais trabalhos em obra. Essa solução obrigaria também a um maior afastamento da cota de soleira do pavimento da envolvente, acarretando problemas do ponto de vista das exigências da acessibilidade. Por outro lado, uma solução de laje em betão

armado constituirá um contributo em massa térmica adicional que as soluções de madeira por si só não podem proporcionar. Outra vantagem da laje de pavimento em betão armado consiste ainda em fornecer uma segurança adicional em relação à durabilidade. Previne-se desta forma o ataque biológico (térmitas e fungos), e evitando-se a proximidade entre os componentes de madeira e o solo.

A laje de betão armado terá cerca 100mm de espessura e sapatas perimetrais sendo assente sobre, pelo menos, 10cm de gravilha compactada. O perímetro da laje coincidirá com a linha geométrica definida pela face exterior das travessas de pavimento, sendo necessário prever sapatas adicionais sob os pilares. A preocupação fundamental de projecto em termos de posicionamento geométrico da laje consiste em prever uma altura com pelo menos 150mm (6") entre o topo da laje e o terreno envolvente (Thalon, 2009, p. 22; CMHC, 2013a, p. 82).

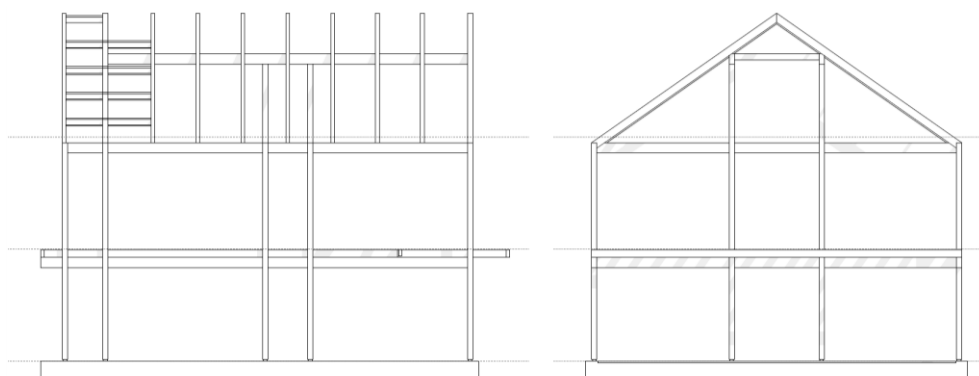


Fig. 388 - Alçados Oeste e Sul com a estrutura de pilares e vigas.

#### 5.3.1.5 DEFINIÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES (PORTICADOS)

As paredes exteriores são constituídas por painéis sanduiche tipo SIP escolhendo-se a espessura normalizada de 165mm porque é semelhante à espessura da envolvente ensaiada para a solução de reticulados leves (montantes de 140mm de profundidade com uma espessura total de parede de 162mm, incluindo o OSB exterior e o painel de gesso interior). Os painéis são instalados sobre uma travessa de soleira perimetral ancorada à laje, sendo ligados entre si e aos pilares e vigas da estrutura porticada por aparafusamento. Os painéis são montados segundo as instruções dos fabricantes, considerando-se que para as suas ligações o método das duas tiras de OSB adjacentes a cada uma das faces será mais eficaz que o método da introdução de um montante porque parece ser mais efectivo na redução das pontes térmicas (cf. Figura 259). A solução de ligação através de montantes poderá ser importante como reforço estrutural quando se adopta a solução integral de painéis SIP sem estrutura porticada adicional.

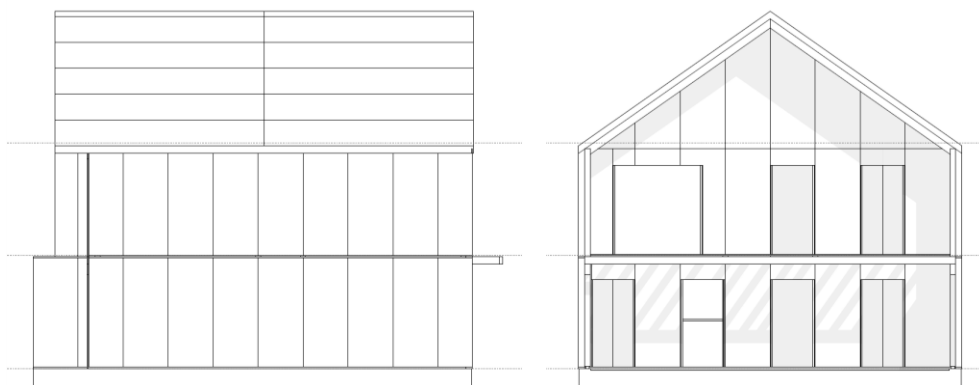


Fig. 389 - Alçados Oeste e sul com a envolvente de painéis SIP sobre a estrutura.

É possível tirar partido da largura normalizada de 1,20m dos painéis SIP, embora quanto à altura se tenha adoptado o pé direito da construção. A opção por painéis de maior altura ou da altura total da construção seria possível, no entanto para a dimensão do projecto, os painéis de menor dimensão permitem uma montagem menos exigente sem necessitar de equipamento de elevação mecânica. A junta entre o topo dos painéis do piso térreo e os painéis do piso superior é efectuada conforme o pormenor tipo(cf. Figura 261), segundo o qual a transição é feita com o revestimento de pavimento em OSB do piso elevado

Para a execução dos vãos recorre-se à instalação de montantes, lintéis e peitoris formando uma moldura sobre a qual se aplicam os aros das portas e janelas. Foi possível manter em grande parte do projecto a racionalização dimensional dos painéis uma vez que os vãos foram posicionados nos desenhos de Arquitectura segundo uma modulação de 1,20m.

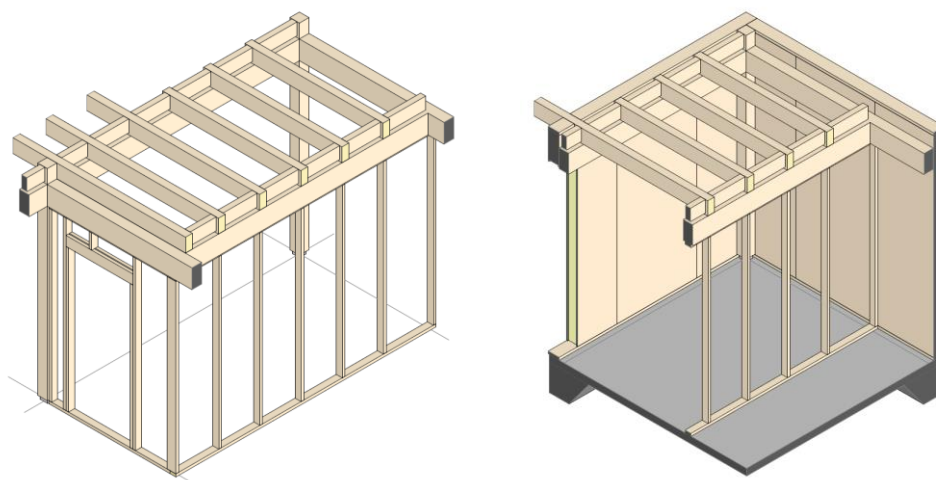


Fig. 390 - Estrutura da compartimentação interior na IS do piso térreo e revestimento estrutural na mesma IS.

#### 5.3.1.6 DEFINIÇÃO DAS PAREDES INTERIORES (PORTICADOS)

O uso de componentes de reticulados leves afigura-se como a opção mais óbvia para a compartimentação interior, aplicando-se as mesmas regras utilizadas para a construção no sistema de reticulados leves, com a diferença que neste caso não é necessário espaçar os montantes do piso térreo 400mm entre eixos.

As paredes interiores são então constituídas por montantes de 38x89mm (2"x4" nominais), espaçados de 600mm, permitindo a instalação das infraestruturas necessárias (tubagens e canalizações) nos espaços vazios, não sendo necessário adoptar paredes de maiores espessuras. A parede das instalações sanitárias que comporta a maioria das infraestruturas de águas e esgotos no entanto deverá ter montantes de 38mmx140mm. Como foi referido no caso de estudo anterior, para a abertura de portas nas paredes interiores deverão ser utilizados lintéis com dois componentes de 38x140mm para permitir vãos até 1,02m. No caso da porta dupla do piso térreo, o vão tem 1,62m pelo que é necessário recorrer a um lintel de dois componentes de 38x286mm. A dimensão dos vãos deve ser calculada em função da diferença entre a medida em toco e a medida final. Deve ser deixado um espaço de 12,5mm entre os elementos estruturais e a face dos aros dos vãos pelo que na medida horizontal dos vãos em toco há que contar com a subtracção de 25mm em relação aos aros dos vãos encomendados (CMHC, 2013a, p. 180).

Para a definição das portas deve-se ter atenção à altura em toco necessária para a instalação das guarnições. Neste caso, para a generalidade das portas, optou-se por uma abertura horizontal em toco de 900mm que permite, em função das guarnições escolhidas

uma porta de 796mm, contemplando já a tolerância de 12mm para cada um dos lados na horizontal e 63mm em altura para absorver os movimentos da madeira. A abertura vertical em toco tem 2100mm permitindo uma abertura útil de 1997mm.

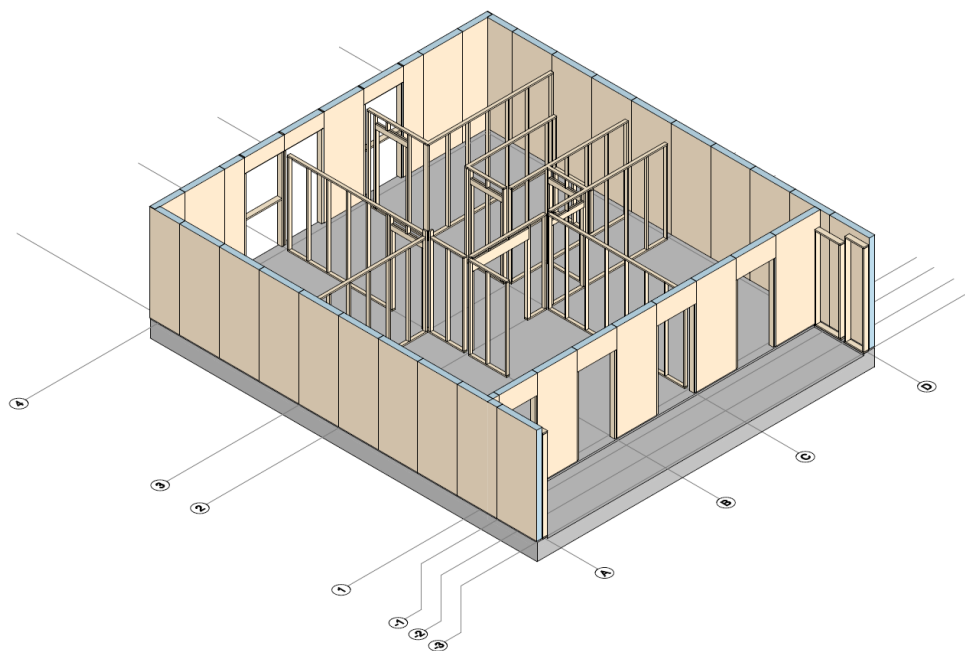


Fig. 391 - Axonometria do piso térreo com a compartimentação e a envolvente com painéis sanduiche (SIP).

#### 5.3.1.7 DEFINIÇÃO DO PAVIMENTO ELEVADO DO PISO SUPERIOR (PORTICADOS)

A estrutura de vigas secundárias do pavimento do piso superior assenta sobre as vigas que por sua vez assentam nos pilares. O pré dimensionamento dos pilares foi realizado tendo como referência as regras propostas por Bignon e Critt-Crai (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 82) que consideram, para uma habitação de rés-de-chão mais dois pisos, uma secção de 140mmx140mm. Para o pré-dimensionamento das vigas utilizaram-se também as regras prescritivas do mesmo autor, ou seja considerando 4,13m como a dimensão do maior vão estrutural, obtém-se a altura das vigas principais dividindo esse valor por 15, sendo a sua largura determinada através da metade do valor obtido. Assim,  $4,13\text{m}/15=0,275\text{m}$  e  $0,275\text{m}/2=0,138\text{m}$ . Arredondando os valores obtém-se uma secção de viga de 0,275x0,14m para haver conformidade com a secção do pilar.

Para o pré-dimensionamento das vigas secundárias utilizou-se a regra apresentada por Kolb (Kolb, 2008) que se aplica a vigas secundárias com espaçamentos até 700mm. Optou-se por orientar as vigas secundárias paralelamente aos vãos maiores, obtendo-se assim também o vão máximo de 4,13m. Então, considerando esta dimensão (4,13m) para o vão das vigas secundárias, obtém-se uma secção de 0,20x0,10m, com um espaçamento de 0,60m<sup>289</sup> ( $4,13\text{m}/20=0,20\text{m}$  e  $0,20\text{m}/2=0,10\text{m}$ ).

A solução aparentemente mais económica consistiria em prever a direcção as vigas na perpendicular aos vãos menores (cf. Figura 392). Desta forma as vigas secundárias poderiam ter uma secção de 0,175x0,0875m, mas esta solução revelou-se pouco compatível com as consolas necessária para o suporte da varanda a sul e da pala a norte. Propôs-se assim a solução com as vigas secundárias na direcção Norte-Sul (cf. Figura 393).

<sup>289</sup> As tabelas de pré-dimensionamento fornecidas no manual "Technologies de construction bois", apontam um vão de 4,00m para vigas espaçadas de 60cm, da classe C22, com 200x75mm de secção (Bignon & Critt-Crai, 2003).

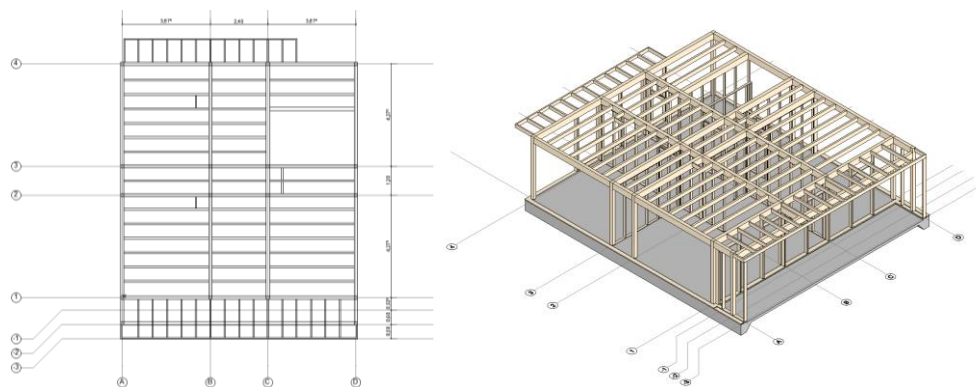


Fig. 392 - Solução alternativa para as vigas de pavimento com uma viga e pilares adicionais de suporte.

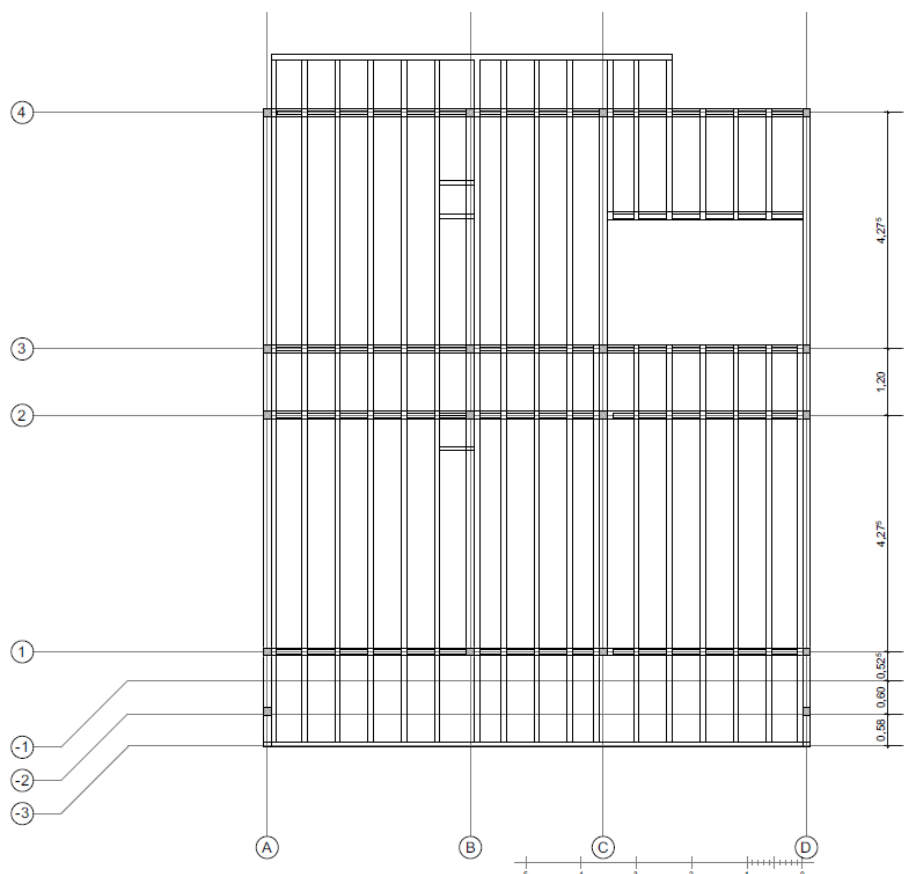


Fig. 393 - Planta da estrutura do pavimento do piso 1.

Uma vez que foi utilizada uma compartimentação semelhante à das estruturas reticuladas, as paredes poderiam ter capacidade resistente, embora neste caso apenas funcionem como elementos adicionais de contraventamento. No piso térreo todas as vigas principais coincidem com as paredes de compartimentação pelo que a altura escolhida para as paredes de compartimentação é dada pela dimensão desde a laje de pavimento até à face inferior dessas vigas.

Considerando que neste piso há vantagem de assentar as vigas secundárias nas vigas principais para permitir que na fachada norte e sul se possa fazer a consola, adoptou-se essa solução em todo o piso. Assume-se que as ligações entre pilares e vigas, bem como das vigas entre si sejam realizadas com ligadores metálicos.

Durante o estudo das várias possibilidades para o pavimento (directão das vigas e cotas das faces superiores das vigas primárias e secundárias) verificou-se que há vantagens em



assumir os pilares como contínuos do piso térreo até à cobertura. Neste caso as ligações das vigas aos pilares efectuem-se todas ao mesmo nível evitando-se problemas decorrentes de situações de vigas com diferentes tipos de apoios.

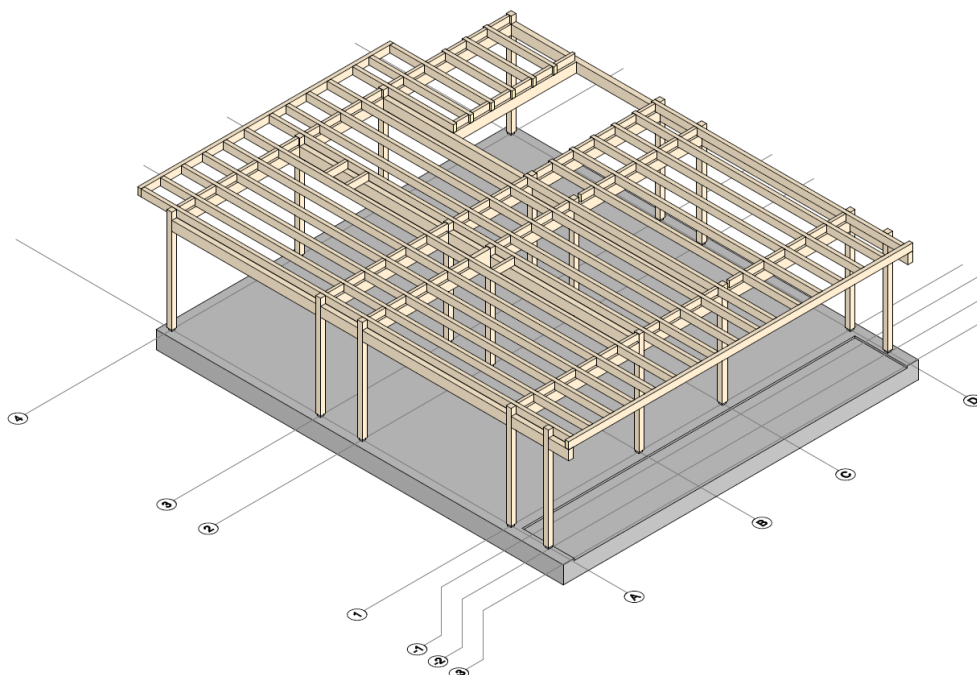


Fig. 394 - Axonometria da estrutura do piso térreo, e do pavimento do piso 1.

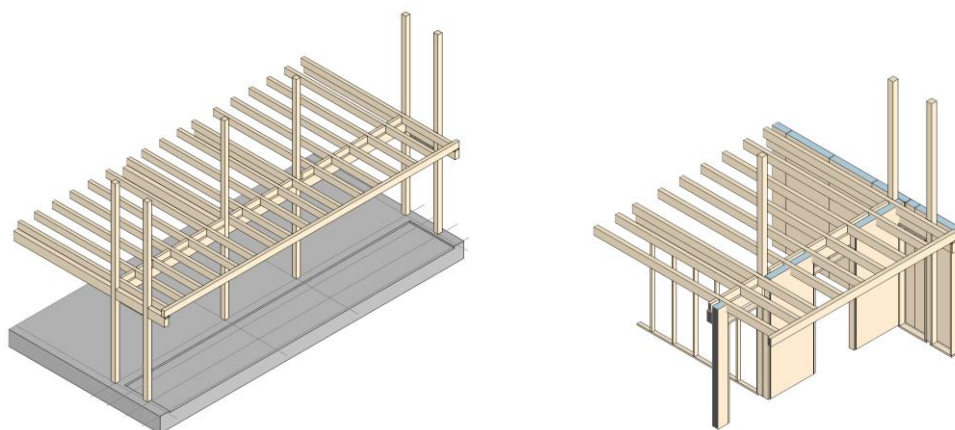


Fig. 395 - Varanda sul e sector da varanda com a implantação dos painéis SIP no piso térreo.

#### 5.3.1.8 DEFINIÇÃO DOS PAVIMENTOS EM CONSOLA (PORTICADOS)

O pavimento do piso 1 apresenta uma solução de varanda a sul com cerca de 1,50m de balanço que é parcialmente resolvida com as vigas que se prolongam para o interior cerca de três vezes a dimensão do balanço (cf. Figura 395). Esta é no entanto uma solução que deve ser submetida à análise da Engenharia para verificação e proposta de alternativas.

Esta solução contempla vigas exteriores à envolvente que perfuram a envolvente, não sendo por isso a opção mais óptima do ponto de vista das exigências térmicas e de durabilidade. No entanto as vigas e as zonas de rompimento não estão expostas ao ambiente exterior podendo as zonas mais sensíveis em redor das vigas (do lado exterior) ser revestidas com isolamento térmico adicional. No caso da pala não visitável localizada na fachada norte, sendo o balanço de 800mm a situação resolve-se sem dificuldade, embora uma vez mais



implique o rompimento da envolvente, requerendo cuidados adicionais em termos de estanquidade e isolamento térmico.

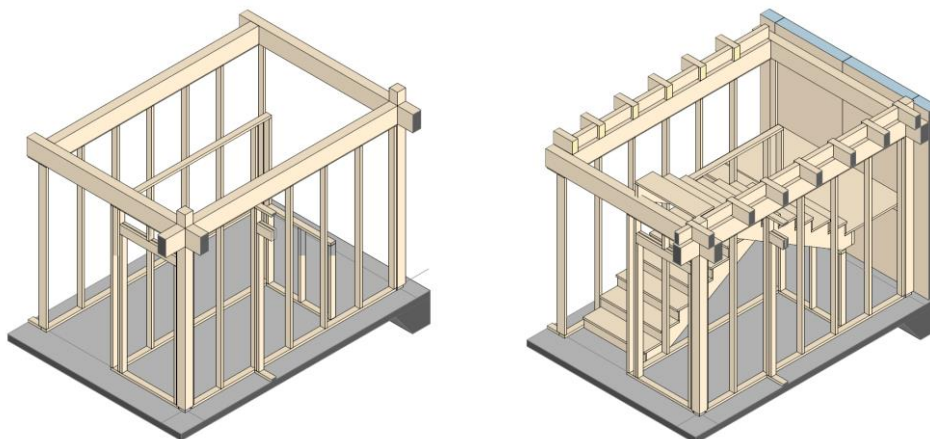


Fig. 396 - Vazio das escadas.

#### 5.3.1.9 REFORÇOS PARA ABERTURAS EM PAVIMENTOS (PORTICADOS)

O vazio das escadas introduz uma descontinuidade no pavimento que é resolvido com uma viga apoiada entre duas vigas principais. A necessidade ou não de um ou dois pilares adicionais exige uma análise de Engenharia. No caso dos vazios criados pelas duas chaminés, da cozinha e da lareira, uma vez que os vazios têm cerca de 550x500mm, utilizam-se elementos bloqueadores.

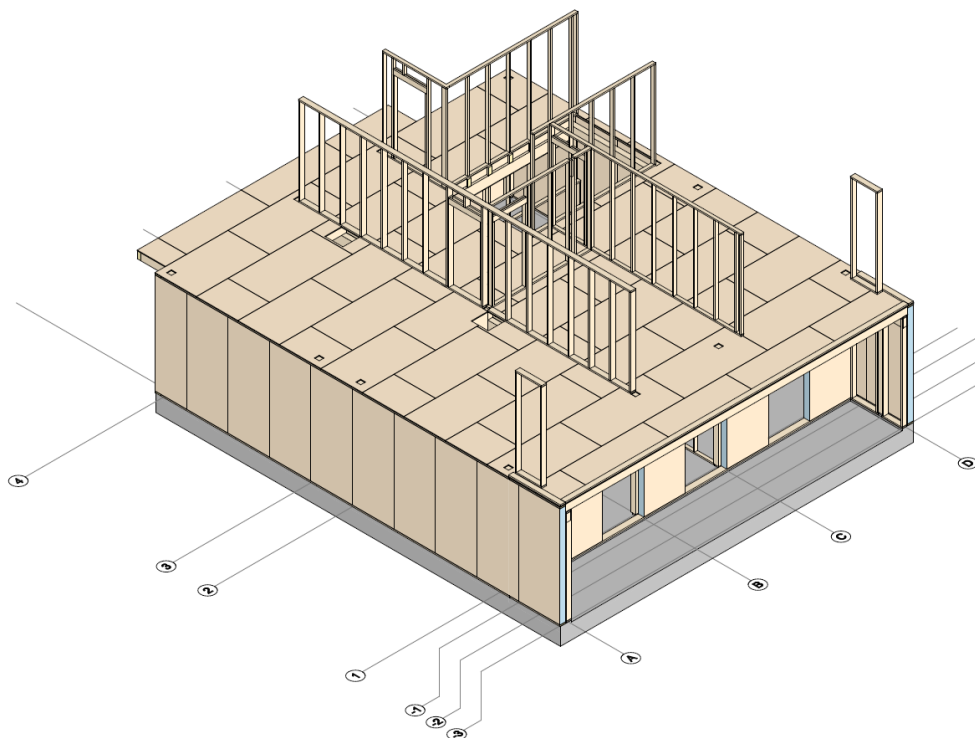


Fig. 397 - Compartimentação do piso superior.

#### 5.3.1.10 DEFINIÇÃO DE PAREDES DO PISO SUPERIOR

Para a definição das paredes do piso superior recorreu-se aos princípios utilizados para os sistemas de reticulados leves. Adoptaram-se os montantes de 38x89mm igualmente utilizados no piso inferior. Uma vez que estas paredes de compartimentação interior podem ter características portantes estão de certo modo a duplicar a função do porticado,

demonstrando-se haver neste sistema algum sobredimensionamento que pode ser vantajoso em situações de sismo, de incêndio ou de eventual necessidade de alterações.

#### 5.3.1.11 DEFINIÇÃO DO TECTO DO PISO SUPERIOR (PORTICADOS)

No caso do tecto do piso superior que no futuro poderá vir a servir um espaço habitado sob a cobertura, adoptou-se uma solução semelhante à do pavimento do piso inferior para as vigas principais e secundárias e recorrendo ao mesmo tipo de secções. Apesar de ter sido ensaiada a solução de vigas perpendiculares às empenas nascente e poente (cf. Figura 398), considerou-se que a opção contrária conduz a uma maior normalização e repetição dos elementos em obra. No entanto, neste caso as vigas secundárias não estão assentes sobre as vigas primárias, como acontece no piso 1, mas são ligadas a estas por ligadores de suspensão, alinhando-se a face superior de ambas. Esta solução tem ainda a vantagem de permitir que todas as paredes do piso 1 sejam coincidentes com as vigas superiores mantendo uma vez mais a coerência entre estrutura e Arquitectura.

A introdução de um tecto estrutural permite eventuais ampliações no futuro e proporciona um suplemento de travamento da estrutura permitindo também com facilidade obter-se um suporte para os revestimentos de acabamento.

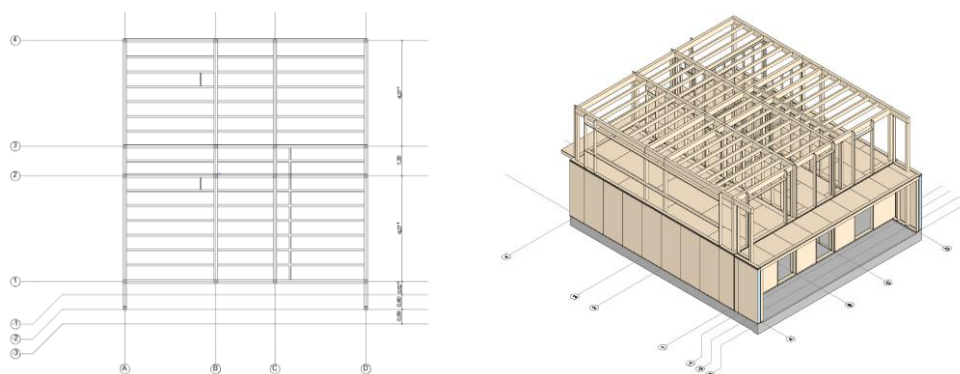


Fig. 398 - Planta e axonometria com uma solução alternativa de pavimento para o piso 2.

#### 5.3.1.12 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES VERTICAIS (PORTICADOS)

Para as dimensões verticais da estrutura foram tidas em conta as definições arquitectónicas. Conclui-se que pelo facto de serem utilizados painéis SIP pelo exterior da estrutura, mantendo o mesmo volume da solução adoptada com a estrutura reticulada, se dá uma redução do pé direito de cerca de 14 cm. Mantém-se no entanto alguma racionalização quanto à altura dos montantes das divisórias interiores: 2,43m e 2,49m respectivamente no piso inferior e no piso superior. No piso inferior pode-se recorrer à dimensão normalizada de 96" (2,43m), obrigando os montantes do piso superior a uma encomenda especial ou a cortes em obra.

A verificação do desenvolvimento da estrutura na vertical é importante para definir o tipo de ligações que são efectuadas entre pilares e vigas primárias. Assim, para facilitar o tipo de ligações pilar viga, optou-se por pilares contínuos com 5,57m desde o pavimento térreo até ao topo da viga perimetral da cobertura. As vigas principais do pavimento do piso 1 encontram os pilares a topo e as vigas secundárias assentam todas nas vigas primárias. Deste modo consegue-se que os dois apoios opostos de todas as vigas assentem sobre elementos com as mesmas condições de assentamento (material, espécie e espessura). As vigas principais do tecto do piso 1 ligam também a topo aos pilares e as vigas secundárias ligam-se, por sua vez, também a topo às vigas primárias. Deste modo evitam-se assentamentos diferenciais de componentes individuais e desequilíbrios no conjunto da construção.

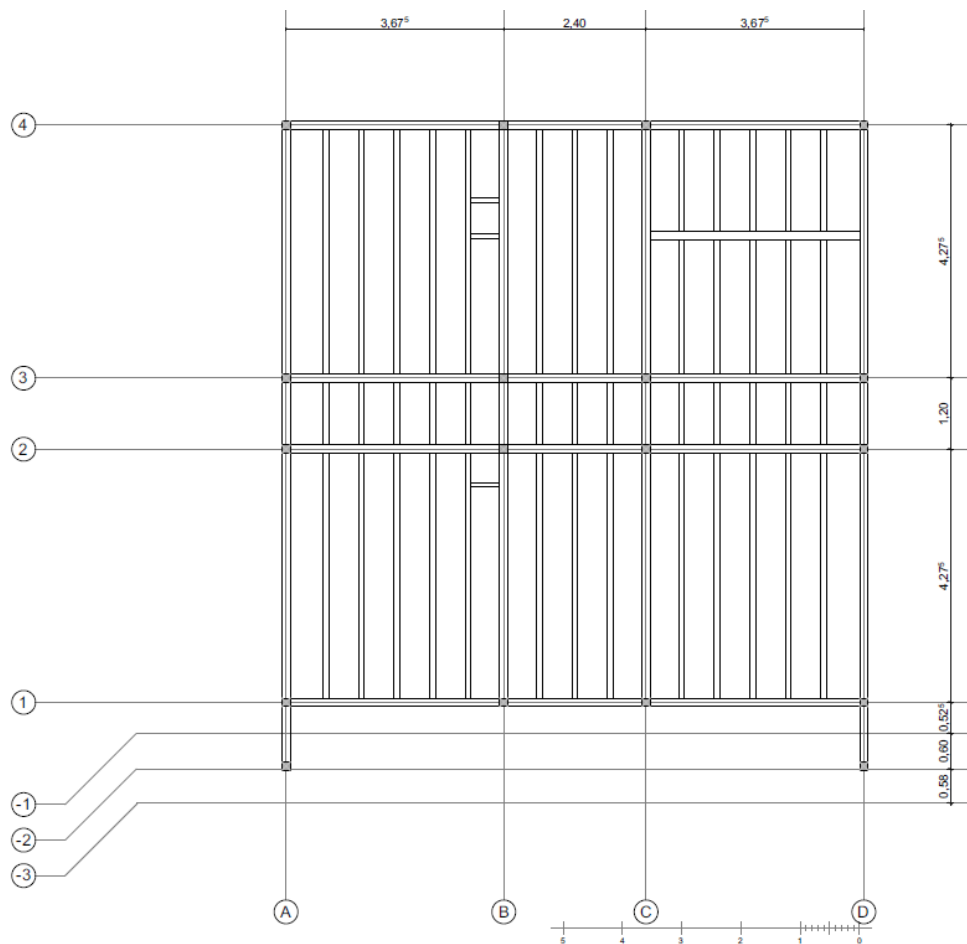


Fig. 399 - Pavimento do Piso 2.

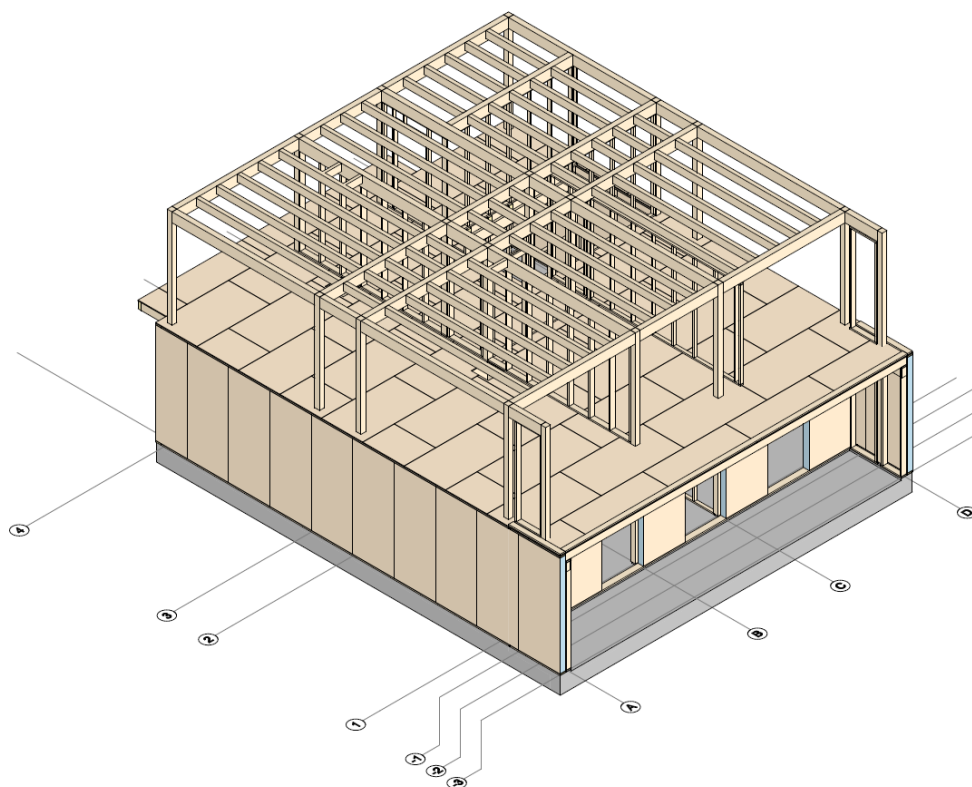


Fig. 400 - Pavimento do piso 2.

### 5.3.1.13 DEFINIÇÃO DA COBERTURA (PORTICADOS)

Para a solução da cobertura optou-se por uma definição que continuasse a lógica dos porticados e que pudesse no futuro dar continuidade à solução da estrutura à vista. Como a solução de envoltória da cobertura é realizada em painéis sanduiche tipo SIP, um afastamento entre vigas de cobertura de 1,20m será suficiente e é conveniente, tendo em conta a métrica adoptada (0,60m). As vigas de cobertura têm um apoio adicional nas vigas longitudinais que se apoiam nos pilares do vão central definindo o espaço habitável que pode vir a ser utilizado no futuro. Consegue-se deste modo um sector central com uma altura entre 2,40m e 3,15 (na linha interior da cumeeira), com interrupção pontual das vigas de travamento transversal de 2,20m.

Para o pré-dimensionamento das vigas optou-se por soluções encontradas em outros projectos de dimensões similares que se encontravam dentro dos limites das dimensões definidas para os pavimentos: 0,275x0,14m para as vigas principais e 0,20x0,10m para as vigas secundárias.

O balanço da cobertura a sul, para além das vigas que concretizam a consola, é resolvido parcialmente pelos painéis sanduiche e parcialmente pelas vigas que apoiam nos dois pilares que foram colocados no perímetro mais a sul, do lado exterior da construção.

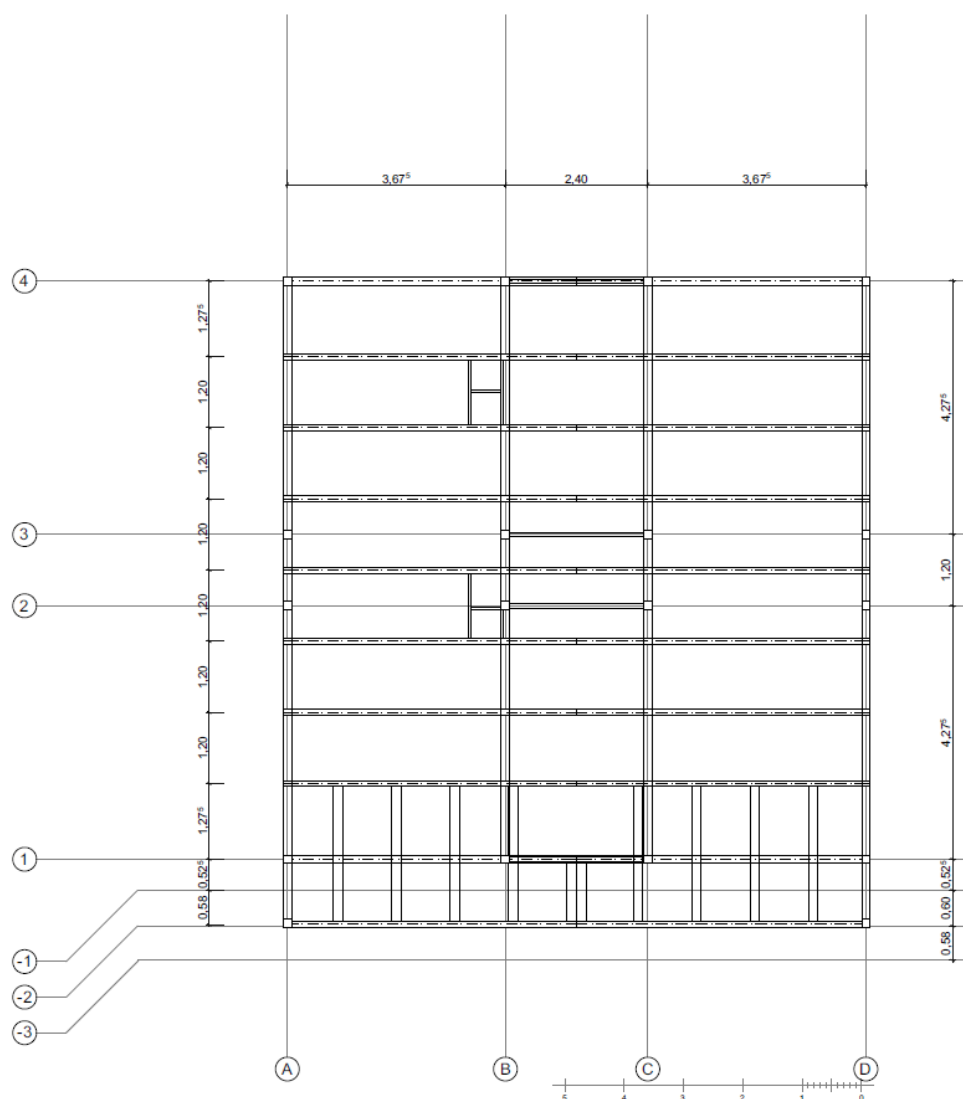


Fig. 401 - Vigamento da cobertura

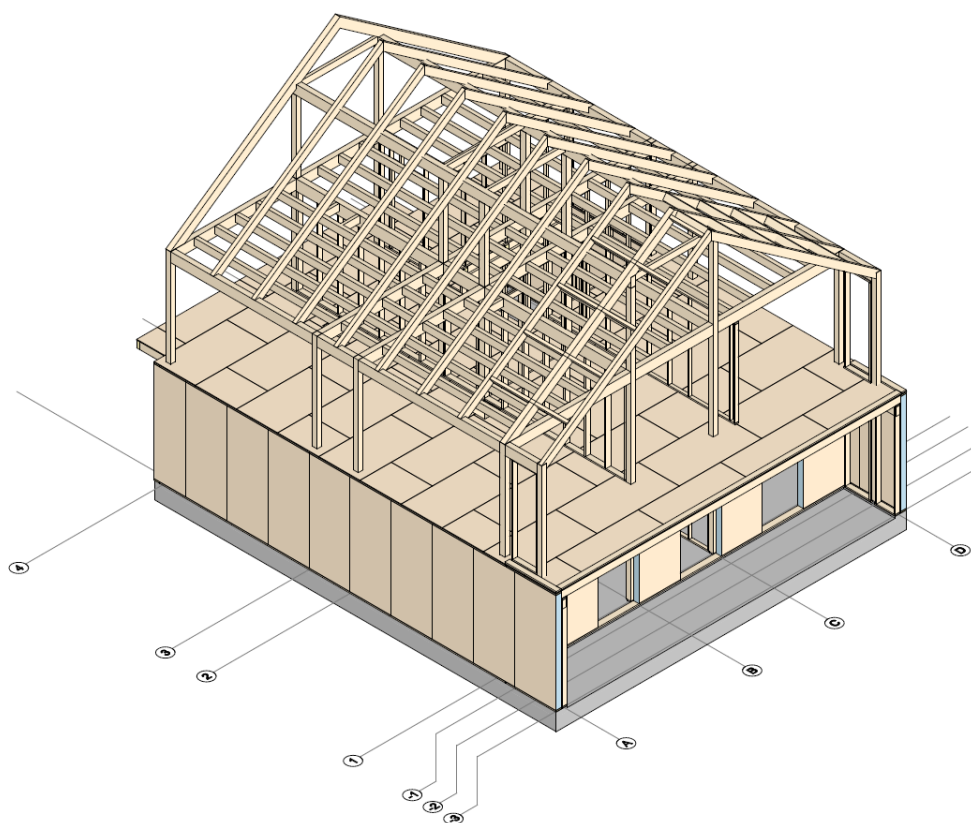


Fig. 402 - Estrutura da cobertura e revestimentos de OSB no pavimento e painéis SIP nas paredes do piso 0.

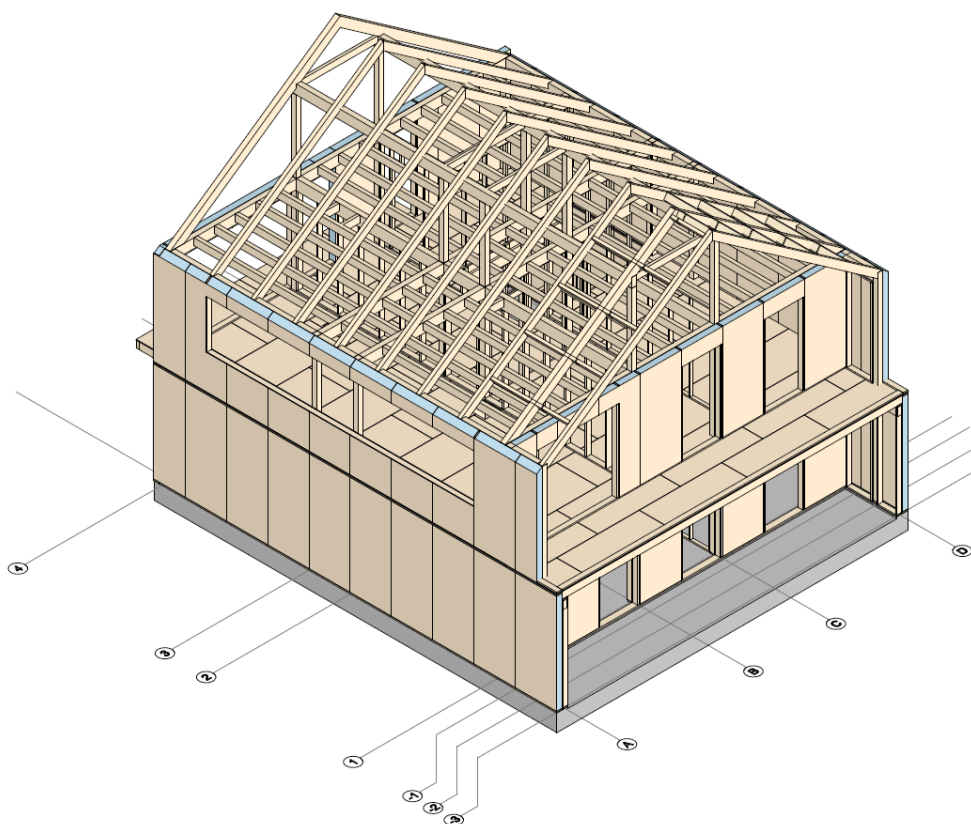


Fig. 403 - Revestimento das paredes do piso 1 com painéis SIP.

#### 5.3.1.14 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DAS PAREDES EXTERIORES (PORTICADOS)

Para revestimento estrutural das paredes exteriores utilizaram-se os painéis sanduiche do tipo SIP com uma espessura de 0,165m com OSB em ambas as faces. Utilizou-se a largura normalizada dos painéis (1,20m) e para a altura, embora se pudesse cobrir toda a altura das paredes em ambos os pisos, recorreu-se à dimensão que permitisse efectuar uma montagem de painéis piso a piso.

#### 5.3.1.15 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS (PORTICADOS)

Para efectuar o revestimento estrutural dos pavimentos utilizou-se a mesma solução que nos pavimentos dos sistemas de reticulados leves. Consultaram-se as tabelas (tabela 22) (CMHC, 2013a, p. 287), obtendo-se o valor de espessura mínima de 18,25mm (23/22"). Perante este condicionamento propõe-se a utilização de painéis de 2440x1196x18mm com bordos rectos (classe OSB2 - uso estrutural em ambiente seco tipo *Kronoply*) (Kronofrance, 2015).

#### 5.3.1.16 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DA COBERTURA (PORTICADOS)

Para o revestimento da cobertura foram utilizados os painéis SIP com a mesma espessura das paredes. Como recomendado pelos fabricantes, a maior dimensão dos painéis foi colocada na perpendicular à direcção das vigas de cobertura. Optou-se por utilizar dois painéis por fiada horizontal, resultando em painéis de 1,20mx5,60m. Esta solução resolve também parcialmente o problema do balanço da cobertura.

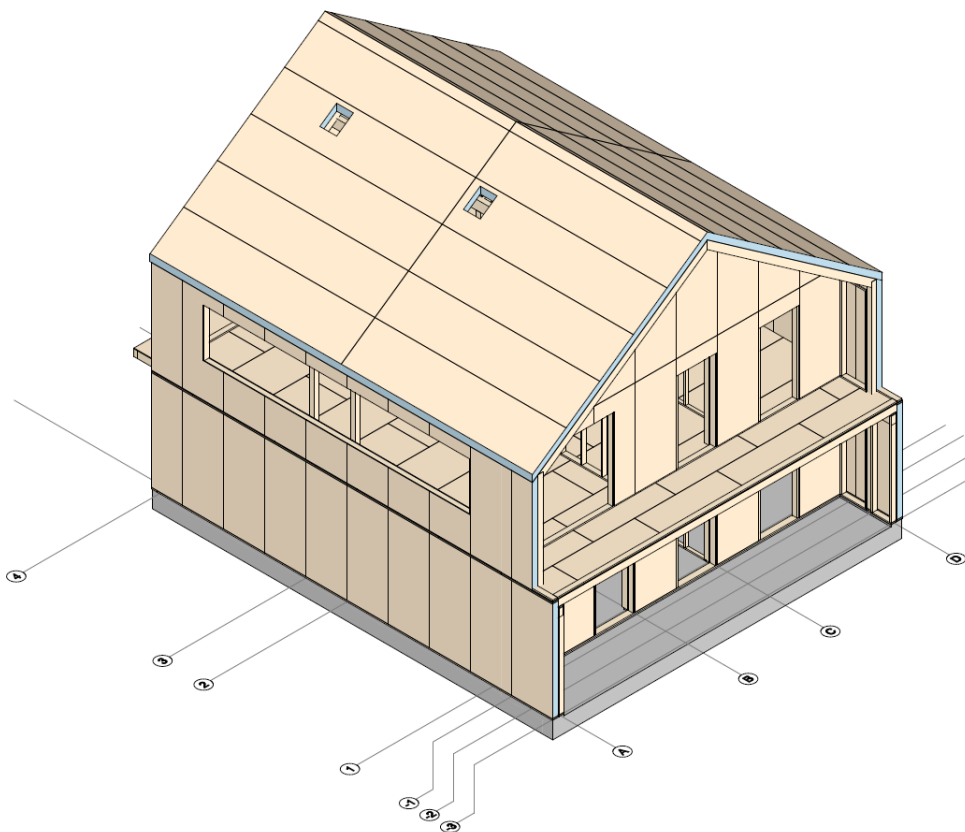


Fig. 404 - Revestimento da cobertura com painéis SIP.

#### 5.3.1.17 REVESTIMENTOS INTERIORES (PORTICADOS)

Para o acabamento do pavimento do piso térreo propõe-se mosaicos cerâmicos com 10mm de espessura. No pavimento do piso superior opta-se por régua de madeira maciça de 100mm de largura e 20mm de espessura, aplicadas directamente sobre as placas de OSB. Para os revestimentos de paredes de compartimentação e da envolvente utilizou-se a solução



mais comum: as placas de gesso cartonado aplicadas directamente sobre os montantes dos reticulados interiores e sobre os painéis SIP exteriores. Nos tectos aplicam-se também painéis de gesso cartonado aplicados sobre uma estrutura de sarrafos de 19x89mm (1"x4") (CMHC, 2013a, p. 227) nos intervalos das vigas de modo a que estas possam ficar expostas. As placas de gesso cartonado têm uma dimensão de 1200x2700mm e uma espessura de 12,7mm (1/2") (KNAUF, 2015) permitindo assim compatibilizar a malha horizontal dos montantes de madeira das paredes interiores. Nos ambientes húmidos das casas de banho e da cozinha recorre-se a placas de fibras de celulose e gesso, tipo Fermacell.

#### 5.3.1.18 ENVOLVENTE (PORTICADOS)

Para o revestimento de acabamento das paredes exteriores propõe-se o recurso a perfis (macho-fêmea) de madeira de pinho termo-modificada, com secção de 117mmx19mm pregados, dispostas na horizontal, sobre uma estrutura de sarrafos de 25mmx40mm dispostos na vertical (Banema, 2015). Segundo as exigências definidas pelo fabricante, a caixa-de-ar deve ter o mínimo de 25mm, os perfis deverão ser afastados cerca de 30cm do solo, a face com a madeira mais interior do cerne deve ser orientada para o exterior, recomendando-se uma projecção da cobertura com um mínimo de 30mm, mas aconselhando-se 600mm. A camada seguinte é constituída por uma membrana sintética transpirante, com as funções vedação à água e ao ar, tipo Transpir 95 (Rothoblaas, 2015) que deverá cobrir toda a envolvente pelo exterior. A tela é fixada aos painéis SIP de 165mm (INSULPAN, 2015) constituídos por XPS e OSB de 11mm em cada face. O revestimento interior será em painéis de gesso cartonado pregados directamente na estrutura de painéis SIP, recorrendo-se a painéis com melhores características de estanquidade - de fibras de celulose e gesso, tipo Fermacell - nos compartimentos onde a presença de humidade e a possibilidade de salpicos pode proporcionar a migração de humidade para os elementos estruturais.

A parede exterior com as características definidas teria uma espessura de 222mm e um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,27 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ . Uma vez que este valor é bem inferior ao que se obteve na solução base dos reticulados leves e é inferior também ao valor mínimo de referência para a envolvente opaca em Portugal, poderia recorrer-se a painéis de 150mm, obtendo-se deste modo uma espessura de parede de 0,207mm e um valor de  $U=0,30 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ .

*O revestimento dos pavimentos interiores deve potenciar o contributo da massa térmica da laje. Propõe-se assim, a aplicação de pavimento cerâmico de 10mm de espessura sobre uma betonilha de regularização de 50mm, sobre uma laje com 100mm que, como já foi referido, deve ser instalada sobre uma tela de isolamento contra a humidade e sobre uma camada de isolamento térmico de XPS com 5cm (2"), sobre cerca de 10cm de gravilha (Thalon, 2009, p. 25). Esta solução terá um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,29 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ . Para obter um valor próximo do valor de referência  $U=0,50 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ , bastaria recorrer a uma espessura de isolamento térmico de 15mm, obtendo-se neste caso um  $U=0,48 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ .*

Propõe-se para revestimento de acabamento exterior da cobertura uma chapa metálica com junta agrafada com 0,7mm de espessura tipo *Rheinzinc* (Rheinzinc, 2015), instalada segundo as especificações do fabricante sobre uma tela estruturada estanque respirante (VAPOZINC), com 0,8mm assente sobre o painel SIP (Rheinzinc, 2015).

A solução proposta para a cobertura teria uma espessura final de 185mm e um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,26 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ . Para obter o  $U=0,25 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ , que é o valor de



referência para a situação mais exigente, poderia recorrer-se a painéis SIP de 172mm, obtendo-se assim uma espessura final de parede de 191mm.

### 5.3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE PORTICADOS

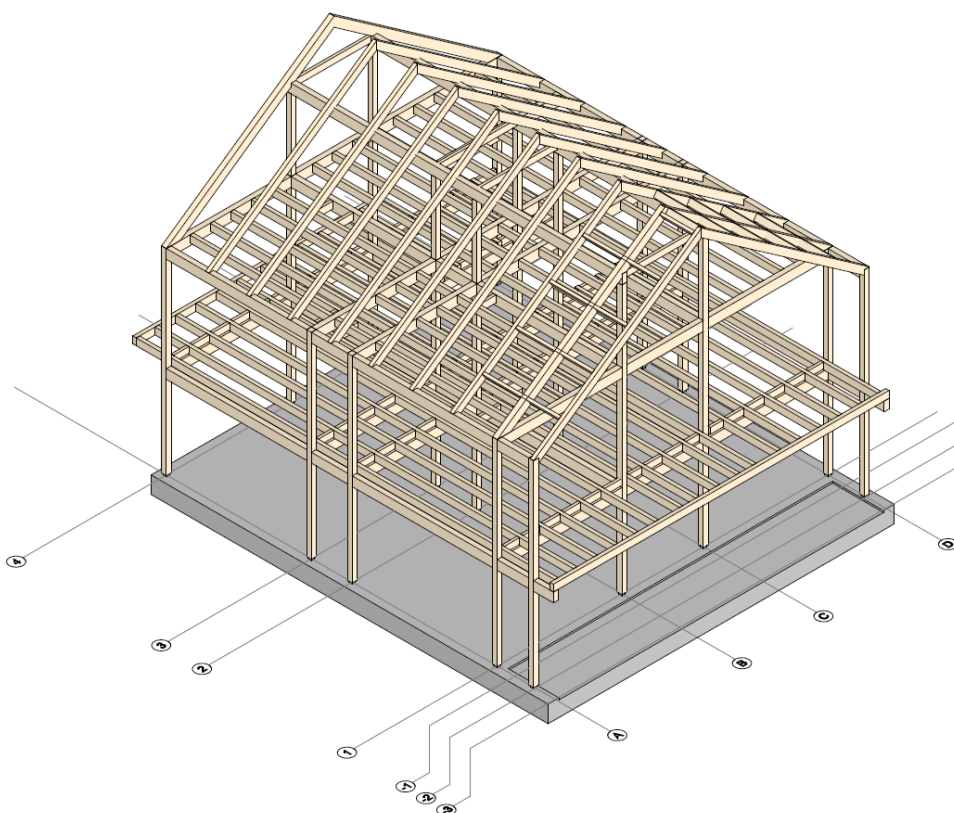


Fig. 405 - Axonometria da estrutura completa do sistema de porticados sem a envolvente.

Do ponto de vista do caso de estudo, pode ser efectuada uma avaliação do sistema construtivo com base nos seguintes factores:

1. Integração do tipo estrutural nas pré-definições do modelo formal.
2. Limitações dimensionais da estrutura.
3. Limitações do ponto de vista da durabilidade.
4. Simplicidade/Complexidade do sistema global.

#### 5.3.2.1 ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE PORTICADOS AO MODELO FORMAL

A adaptação do tipo estrutural não conduziu a alterações significativas das dimensões espaciais do modelo formal pré-definido. No entanto concluiu-se que é difícil em soluções de habitação de dimensões reduzidas compatibilizar a compartimentação com uma grelha estrutural uniforme.

A adaptação do tipo estrutural não conduziu a alterações significativas das características simbólico-arquitectónicas do modelo formal pré-definido. O sistema de porticados adapta-se com mais facilidade a vãos amplos permitindo que por exemplo no vão Oeste do terraço coberto a abertura apenas tenha que ser interrompida por um pilar.

Foram efectuadas algumas alterações de pormenor. Foi modificada a posição de uma porta no piso superior para evitar o conflito com a posição de um dos pilares da estrutura. Foi alterada a posição da courete nas IS para absorver o pilar que encontrava num local

inconveniente do ponto de vista da sua protecção. O piso superior foi sujeito a uma redução no pé-direito porque se optou por uma estrutura de pavimento em que as vigas secundárias assentam sobre as vigas primárias. As janelas e a porta do piso 0 do alçado norte tiveram de ser rebaixadas devido ao conflito com a viga de perímetro.

O sistema, pela sua natureza, inspira soluções e ambientes em que a estrutura é um dispositivo formal expressivo. A visibilidade dos elementos estruturais (pilares e vigas) é um factor de identidade e singularidade deste sistema construtivo.

As possibilidades de variação formal são amplas, uma vez que há independência entre a estrutura, os revestimentos e a compartimentação, embora o sistema direcione, como foi referido, para soluções com a estrutura à vista. Comparativamente com a solução de reticulados verifica-se que é um sistema ainda mais flexível uma vez que pode adicionalmente contemplar soluções exteriores com a estrutura à vista e dentro desta, soluções em que a estrutura alterna com amplos planos envidraçados.

A flexibilidade do sistema formal em termos volumétrico-espaciais é muito ampla, não oferecendo limitações ao nível das dimensões dos espaços interiores da habitação nem as limitações colocadas pelo sistema de reticulados ao nível das varandas e consolas, embora se tenham que reconhecer as limitações da madeira neste aspecto em relação a materiais como o aço e o betão armado, que podem ser utilizados como elementos adicionais para resolver soluções pontuais.

A flexibilidade relativamente ao tipo de detalhes (mais contemporâneos ou tradicionalistas) está relacionada com o tipo de envolvente que se pretende definir. O uso de revestimentos de madeira, exige sempre cuidados ao nível da protecção das transições de planos através de remates, molduras e beirados. As alternativas consistem em adoptar diferentes materiais de revestimento (fenólicos, compostos de madeira-cimento, rebocos, etc.) e recorrer ao tratamento químico dos revestimentos.

#### 5.3.2.2 LIMITAÇÕES DIMENSIONAIS DA ESTRUTURA (PORTICADOS)

Do ponto de vista da estrutura, o sistema não oferece limitações em relação às dimensões de vãos utilizados nos espaços domésticos. Varandas ou consolas mais arrojadas necessitarão de soluções especiais, nomeadamente através do recurso a vigas Glulam ou a outros materiais, como o aço.

#### 5.3.2.3 LIMITAÇÕES DO PONTO DE VISTA DA DURABILIDADE (PORTICADOS)

As limitações do tipo estrutural do ponto de vista da durabilidade estão relacionadas com as opções arquitectónicas. Se a envolvente construída remeter a estrutura para o interior como foi assumido no caso de estudo, este sistema é aquele em que a durabilidade estrutural deverá superior aos restantes. Se se optar pela via de expor a estrutura ao ambiente exterior, então o sistema será mais sensível devendo ser adoptadas medidas de durabilidade através das definições arquitectónicas, sendo em certos casos necessário recorrer ao tratamento da madeira.

A solução escolhida apresenta problemas de durabilidade que resultam não do sistema em si, mas da concepção arquitectónica. Deve ser efectuada uma crítica ao modelo formal desenvolvido uma vez que as opções de durabilidade em alguns aspectos, não são as mais duráveis. Faltam projecções na cobertura a norte, nascente e poente, faltam caleiras e tubos de queda. São ainda factores de risco adicionais a existência de uma varanda, de uma pala e de um deck, ainda que coberto.

#### 5.3.2.4 SIMPLICIDADE/COMPLEXIDADE DO SISTEMA (PORTICADOS)

O sistema mostra-se muito simples na sua lógica uma vez que esta é semelhante à lógica de projecto do betão armado, com a qual os Arquitectos estão familiarizados. Com a informação básica de pré-dimensionamentos será muito simples efectuar hipótese de trabalho para discussão com o Engenheiro de estruturas. A simplicidade do sistema estará dependente também do tipo de envolvente que se escolhe. Por este motivo a escolha de uma solução que responda às exigências térmicas fica facilitada. Se forem adoptados painéis de grande dimensão como foi efectuado no caso de estudo, reduzem-se as camadas construtivas e as juntas, diminuem-se os trabalhos de montagem e os tornam-se mais simples os pormenores comparativamente às soluções com painéis reticulados leves.

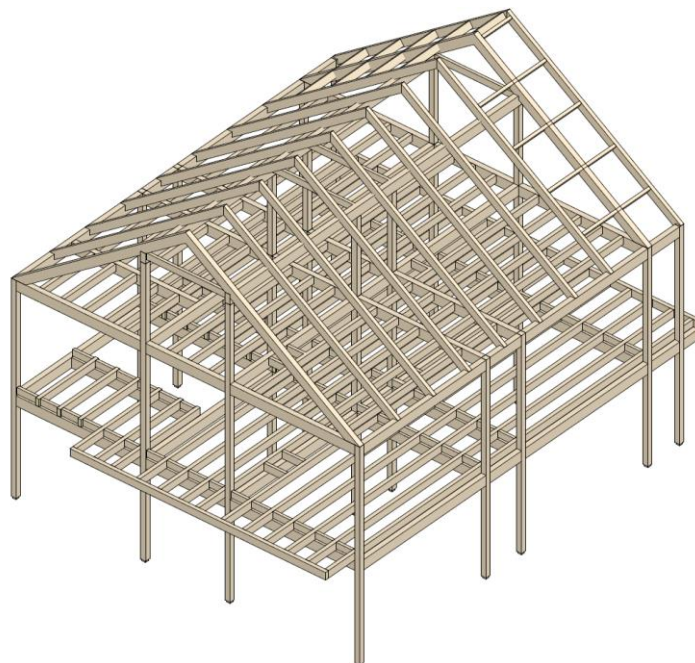


Fig. 406 - Axonometria noroeste da solução estrutural de porticados.

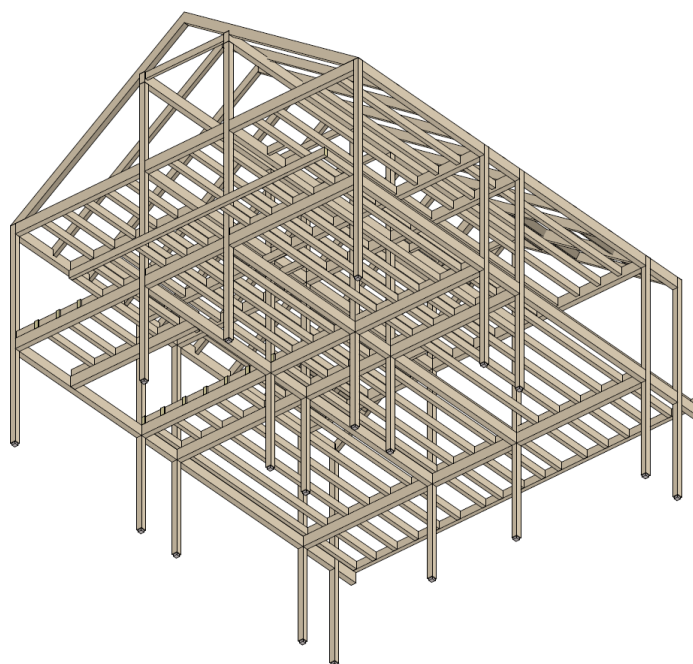


Fig. 407- Axonometria noroeste inferior da solução estrutural de porticados.

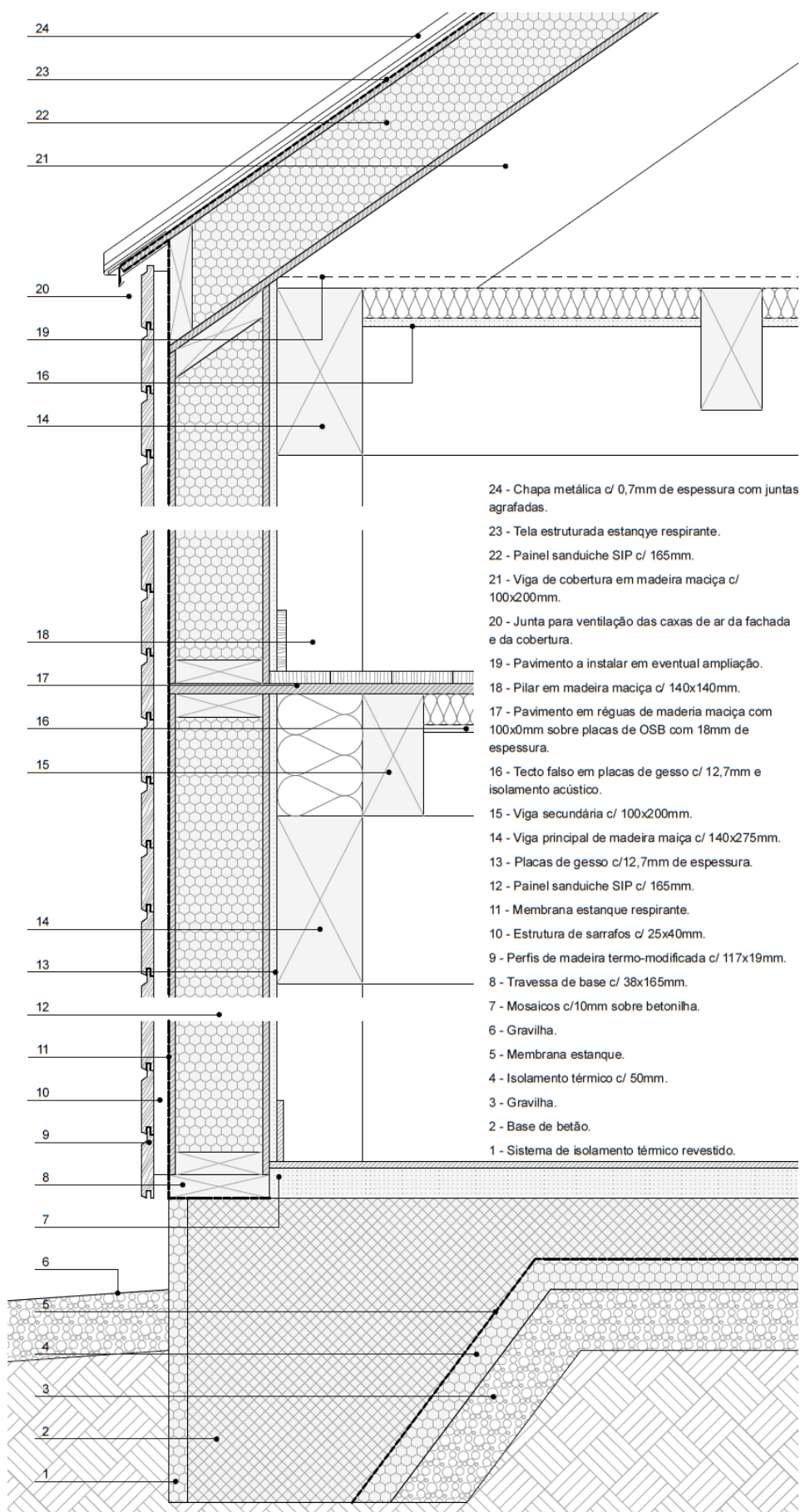


Fig. 408 - Corte construtivo pela fachada da solução de porticados, com envolvente em painéis sanduiche SIP.



## 5.4 PROJECTO COM PAREDES PESADAS DE TOROS

### 5.4.1 CASO DE ESTUDO (Toros)

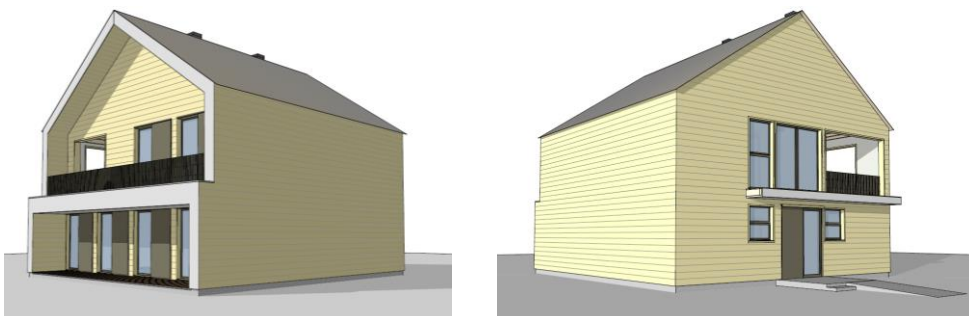


Fig. 409 - Perspectivas da solução desenvolvida em referência ao sistema formal, a utilizar no caso de estudo.

Conforme referido para os casos de estudo anteriores, a tarefa principal desta fase (caso de estudo) consiste em adaptar o tipo estrutural ao projecto arquitectónico desenvolvido previamente. O terceiro tipo estrutural testado é o de paredes pesadas de toros.

No sistema de paredes pesadas de toros, uma vez que a sua base estrutural são as paredes portantes, a definição estrutural coincide ou condiciona decisivamente a envolvente construída. Por este motivo, o sistema formal que foi desenvolvido previamente deverá ser alvo de uma adaptação cujo resultado deverá ser avaliado no final.

#### 5.4.1.1 SISTEMA CONSTRUTIVO (TOROS)

Das diversas soluções de paredes de toros disponíveis optou-se por propor uma envolvente com toros de secção rectangular, lamelados com encaixe duplo no exterior e uma solução de isolamento térmico pelo interior. Utilizou-se como referência a solução estudada por Oliveira et al (2012) e fornecida pela empresa Rusticasa com uma parede constituída por toros lamelados de 120mm de espessura, uma barreira de humidade, uma estrutura de suporte com lã de rocha (50mm), uma barreira pára vapor, um ripado horizontal (25x40mm) e um contra-ripado vertical (25x40mm), terminando com um forro de aglomerados de madeira pelo interior. Segundo o referido estudo esta solução apresenta um coeficiente de transmissão térmica testado em laboratório de 0,20 U (W/m<sup>2</sup>.°C), embora o valor teórico previsto fosse 0,42 U<sup>290</sup> (W/m<sup>2</sup>.°C). Na elaboração do caso de estudo tomaram-se principalmente como referências as soluções das empresas Rusticasa e Honka, recorrendo-se às informações do Documento de Homologação do sistema Rusticasa (LNEC, 2012) e do Manual de projecto Honka (Honka, 2015). Para os pré-dimensionamentos utilizaram-se as soluções correntes expressas nesses documentos, bem como algumas das soluções de pavimentos e coberturas utilizadas nos casos de estudo desenvolvidos anteriormente (reticulados leves e porticados).

As estruturas de toros são normalmente montadas em obra a partir da modalidade de *kit*, constituído por componentes pré-cortados e com montagem verificada em fábrica. Uma vez que a montagem é efectuada toro a toro, este sistema poderá ser menos eficaz que outros sistemas que têm por base a montagem de painéis (painéis de reticulados leves ou de paredes pesadas de toros), em que as operações de ligação podem ser reduzidas ao mínimo. Este sistema pode no entanto ser mais eficaz do que o sistema de reticulados leves e que o sistema de porticados, por exigir menos operações e trabalhos mais repetitivos.

<sup>290</sup> Com o software BuildDesk U3.4, utilizado no caso de estudo, o valor de U resultante é 0,41U.

#### 5.4.1.2 COMPONENTES E ELEMENTOS CONSIDERADOS (TOROS)

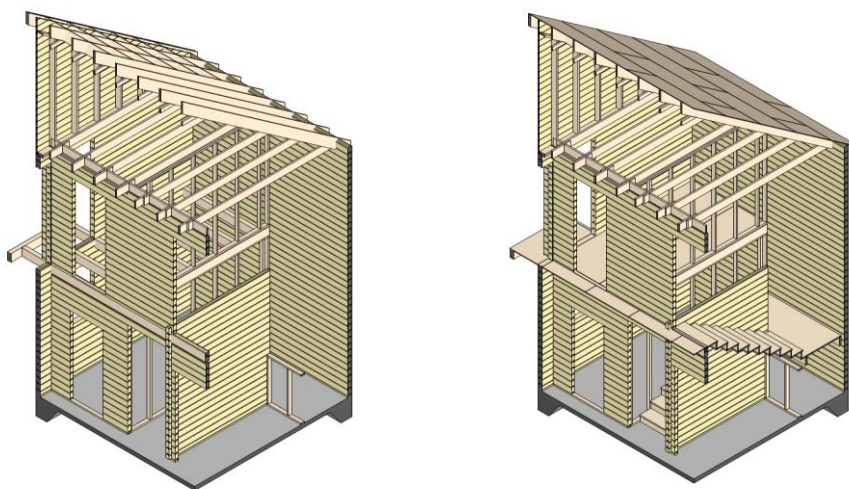


Fig. 410 - Tipo estrutural principal e o mesmo sistema com integração das escadas, e dos painéis de pavimento e de cobertura em OSB.

A solução adoptada consiste nas já referidas paredes exteriores de toros com isolamento térmico, e paredes interiores de toros simples sobre laje de fundação. Para o pavimento suspenso recorreu-se à solução, utilizada no caso de estudo do sistema porticado, de vigas apoiadas nas paredes portantes. Para a solução do tecto e da cobertura optou-se por uma solução integrada de elementos leves de madeira à semelhança do que se utilizou no caso de estudo do sistema de reticulados leves. A opção pelo pavimento de vigas de madeira justifica-se porque desse modo se pode tirar partido da expressão estética da madeira à vista no piso térreo. A opção pelo tecto e cobertura em elementos aligeirados justifica-se pela sua maior leveza. Para os revestimentos estruturais dos pavimentos, propõe-se a solução mais usual: as placas de OSB, propondo-se para os tectos e pontualmente para as paredes interiores os revestimentos em painéis de gesso cartonado.

Os revestimentos de acabamento interiores são cerâmicos no pavimento do piso térreo e de madeira maciça no piso superior. Para o isolamento térmico, telas de protecção da envolvente e para os revestimentos de acabamento exteriores e interiores, dada a enorme diversidade de soluções são apontadas apenas de modo genérico aquelas que se consideram compatíveis com os componentes utilizados.

#### 5.4.1.3 GRELHA ESTRUTURAL (TOROS)

A definição da grelha estrutural, no caso do sistema de toros, em princípio é coincidente com a grelha definida pelas definições espaciais e de compartimentação tal como surgem no modelo arquitectónico. A adequação destas definições deve ser no entanto verificada para evitar que as paredes exteriores excedam, no caso da Rusticasa, a distância máxima de 6,00m sem intersecções e as paredes interiores não excedam os 4,00m. Para além desta limitação, deve-se recorrer à verificação estrutural ou à adopção de medidas de reforço em pontos intermédios dessas mesmas paredes.

No caso de estudo, há paredes que excedem as distâncias máximas. Assim, no piso térreo há duas paredes interiores com 4,50m entre intersecções e uma parede exterior com 6,30m. A solução adoptada consistirá em introduzir um troço de parede perpendicular num ponto do espaço que não colida com as definições arquitectónicas. Esse elemento de reforço funcionará como se de um pilar adossado se tratasse. No piso superior há três paredes

interiores e uma parede exterior que ultrapassam os limites referidos, tendo-se optado por sobrepor as soluções de reforço deste piso com as do piso inferior (cf. Figura 411).

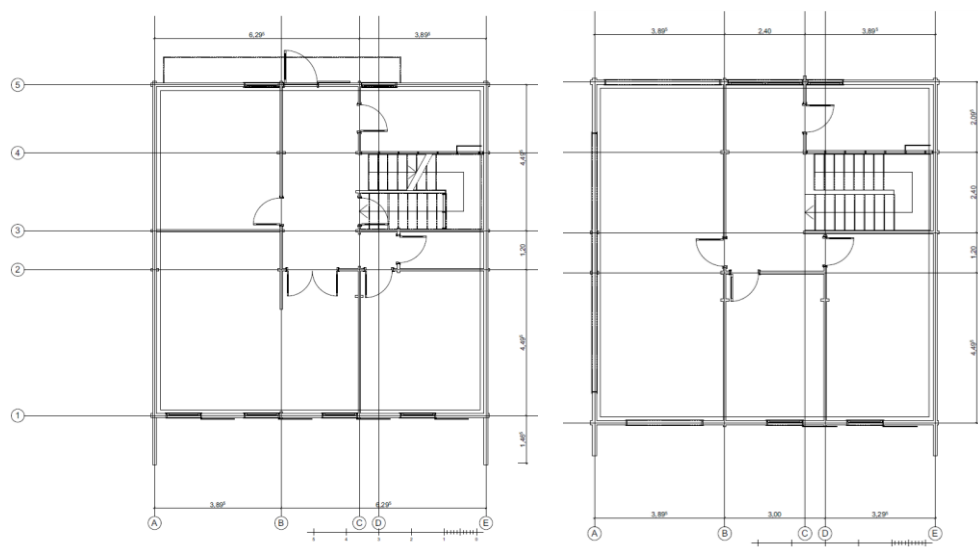


Fig. 411 - Plantas de compartimentação e grelha estrutural do piso 0 e do piso 1.

A compartimentação arquitectónica conduziu a uma grelha estrutural em que as paredes do piso superior se sobrepõem às do piso inferior, com duas excepções que exigem a definição de duas vigas ao nível do tecto do piso térreo. Essas vigas podem ser realizadas ou reforçadas mediante a composição de toros sobrepostos apoiados nas paredes e ligados entre si por aparafusamento. A opção de utilizar uma parede exterior com toros isolados pelo interior retira de algum modo o valor de autenticidade dos sistemas originais, mas esse factor é contrabalançado com a opção de utilizar toros para a compartimentação interior (cf. Figura 412). A decisão de utilizar outro tipo de estrutura para as paredes interiores apenas se revelou necessária para a parede da instalação sanitária onde encostam as principais loiças. Nesse caso utilizou-se uma parede de reticulados leves através da qual com maior facilidade é possível conduzir as infraestruturas de águas e esgotos.

#### 5.4.1.4 PAVIMENTO TÉRREO (TOROS)

Nesta fase, como foi referido, a informação do tipo de solo (argila, sedimentar, granulados grosseiros ou rocha), bem como a consulta à Engenharia de estruturas seriam tarefas necessárias para informar a escolha de solução para o pavimento térreo. No caso de estudo, o pavimento e as fundações têm uma importância secundária pelo que se adopta uma solução genérica semelhante à adoptada nos outros casos de estudo.

Foi assim considerada apenas como referência uma laje de betão armado por se considerar que é uma solução de simples execução em moradias sem cave e com algumas vantagens em relação à solução de pavimento térreo em estrutura de madeira sobre espaço de serviço. Ainda que uma solução de pavimento térreo em estrutura de madeira recorresse a mais componentes renováveis e recicláveis, a solução de laje em betão armado constituirá um contributo em massa térmica que compensará a baixa inércia da madeira. Outra vantagem da laje de pavimento em betão armado consiste ainda em fornecer uma segurança adicional em relação à durabilidade. Previne-se desta forma o ataque biológico (térmitas e fungos), evitando-se a proximidade entre componentes de madeira e solo.



A laje de betão armado terá cerca de 100mm de espessura e sapatas perimetrais sendo assente sobre pelo menos 10cm de gravilha compactada. O perímetro da laje coincidirá com a linha geométrica definida pela face exterior das travessas de pavimento. A preocupação fundamental de projecto ,em termos de posicionamento geométrico da laje, consiste em prever uma distância de pelo menos de 150mm (Peraza Sánches, et al., 1995) entre o topo da laje e o terreno envolvente, no entanto tratando-se de um sistema em que a estrutura está aparente, será aconselhável prever uma dimensão superior, tal como é proposta pela Rusticasa (20cm) (LNEC, 2012) ou pela Honka (30cm) (Honka, 2015).

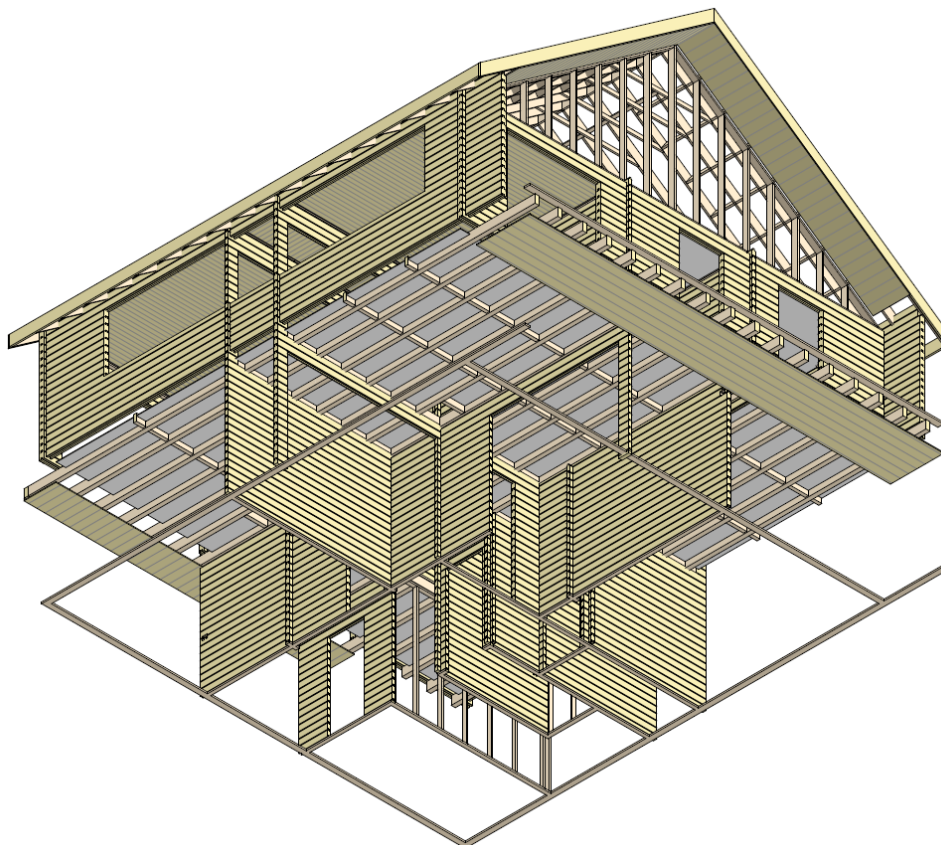


Fig. 412 - Axonometria inferior mostrando os aspectos estruturais visíveis a partir do interior.



Fig. 413 - Alçados Sul e Norte, evidenciando apenas os elementos estruturais.



Fig. 414 - Cortes transversais, evidenciando apenas os elementos estruturais.

#### 5.4.1.5 DEFINIÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES (TOROS)

As paredes exteriores são constituídas por toros lamelados de 120mm montados a partir da base de betão sobre uma travessa de soleira ancorada às fundações. As paredes exteriores são contínuas ao longo dos dois pisos, sendo necessário ter em conta os efeitos do seu assentamento e a necessidade do seu contraventamento. Uma vez que estas paredes serão cobertas pelo interior com camadas de isolamento térmico e revestimentos, serão necessários cuidados de execução, nomeadamente ao nível dos detalhes da fixação dos ripados aos toros (que irão sofrer assentamentos) e ao nível da intersecção dessas mesmas camadas com os níveis superiores do tecto.

Para evitar minorar os efeitos do assentamento na cobertura, optou-se por definir as zonas da empena acima do piso superior numa estrutura de reticulados leves revestida com régua com a mesma dimensão vertical dos toros (e com o mesmo tipo de madeira), mas com uma espessura de 38mm. Deste modo, as paredes exteriores assentarão todas do mesmo modo e a cobertura acompanhará de forma quase independente esse movimento uma vez que a estrutura de reticulados leves, das duas empenas norte e sul, é composta maioritariamente por montantes verticais.

Para a execução dos vãos, os próprios toros formam os lintéis devendo ajustar-se sempre que possível a sua altura à dimensão dos toros inteiros, especialmente em vãos de maior dimensão. Os pormenores de instalação dos vãos exigem aqui também cuidados especiais devido ao assentamento das paredes. Deverá ser previsto um aro vertical intermédio em cada uma das ombreiras com uma folga na dimensão vertical que contemple o assentamento previsível. A guarnição do lintel deve cobrir esta junta, devendo ser instalado pelo exterior um remate de protecção à entrada de água em toda a sua dimensão horizontal. Este aspecto exige um determinado tipo de pormenorização que normalmente incluem régua tapa juntas que determinam alguns dos aspectos formais da construção referenciados a soluções tradicionais (como as molduras em redor dos vãos).

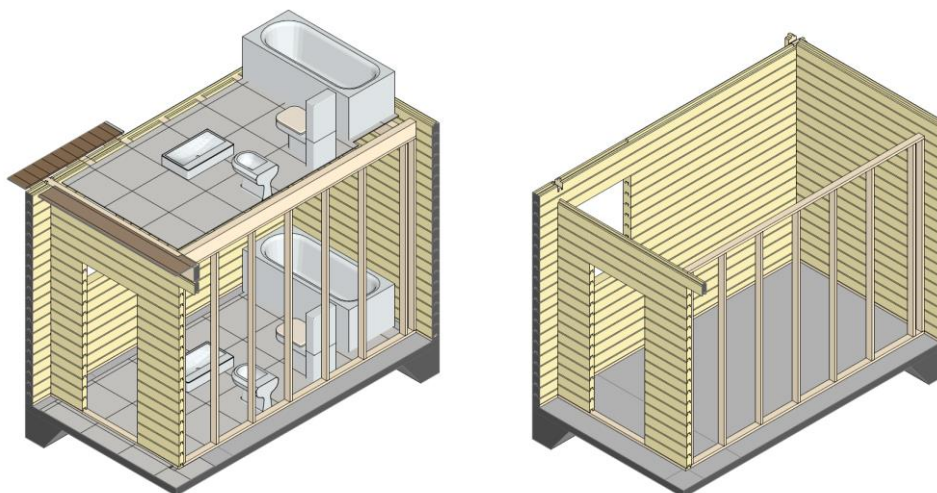


Fig. 415 - Estrutura da compartimentação interior em toros e parede reticulada na IS do piso térreo.

#### 5.4.1.6 DEFINIÇÃO DAS PAREDES INTERIORES (TOROS)

Para as paredes interiores recorre-se à solução dos toros simples de 8cm, adoptando-se o mesmo princípio das paredes exteriores, com paredes semelhantes nos dois pisos. A maior parte das paredes do piso superior sobrepõem-se às do piso inferior, simplificando a solução estrutural. Quando as paredes dos pisos superiores não são sobrepostas com as dos pisos inferiores, tal como acontece em duas situações, deve ser chamada a atenção para a verificação do dimensionamento das vigas que as suportam.

Apenas na parede interior onde encostam as louças sanitárias, se prevê uma divisória de reticulados leves com montantes de 38x89mm (2"x6" nominais), espaçados de 600mm, permitindo a passagem das infraestruturas do piso superior para o piso inferior. Um tecto falso montado na instalação sanitária do piso inferior permite que as infraestruturas possam contornar a viga existente.

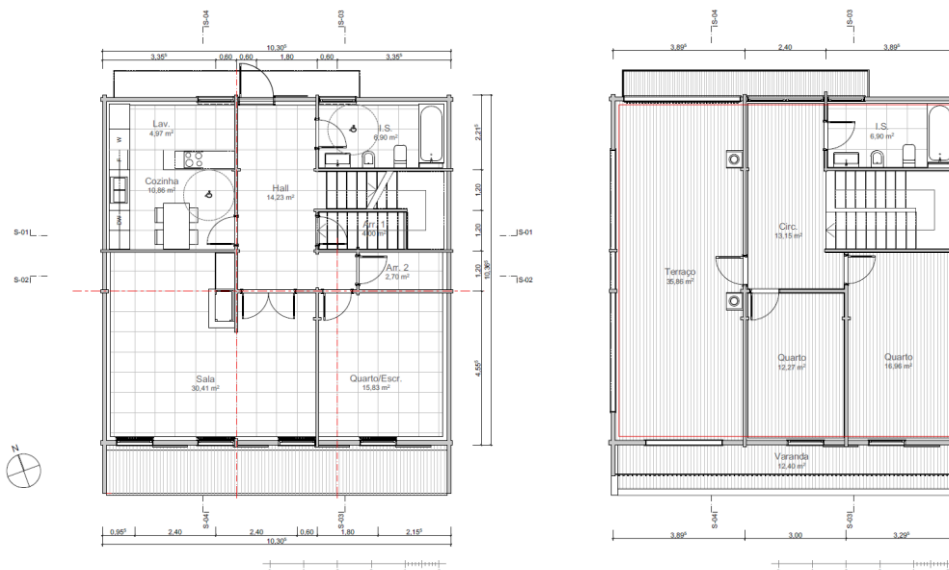


Fig. 416 - Piso térreo e superior com marcação a tracejado das duas vigas onde assentam as paredes superiores.

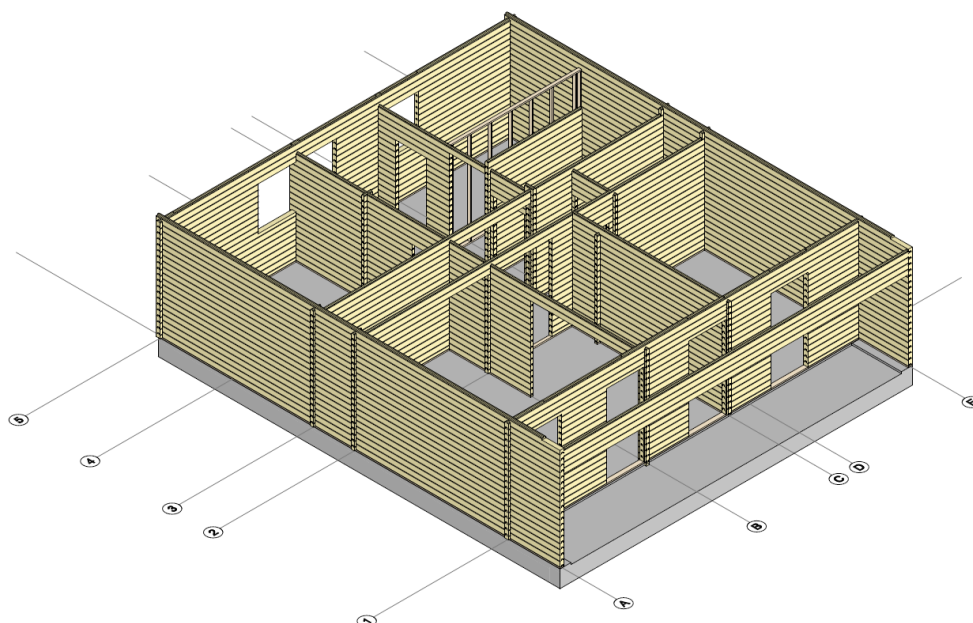


Fig. 417 - Axonometria do piso térreo com a compartimentação e a envolvente com toros esquadriados lamelados.

#### 5.4.1.7 DEFINIÇÃO DO PAVIMENTO ELEVADO DO PISO SUPERIOR (TOROS)

O pavimento do piso superior assenta sobre as paredes portantes de toros. Uma vez que se pretendia tirar partido da estética da madeira à vista no piso térreo, optou-se pela solução de vigas de pavimento adoptada no caso de estudo do sistema porticado. Para o pré-dimensionamento das vigas secundárias utilizou-se a regra apresentada por Kolb (2008) que contempla vigas secundárias com espaçamentos até 700mm. Optou-se por orientar as vigas secundárias paralelamente aos vãos maiores, para que se conseguissem efectuar as consolas a sul e norte com mais eficácia, obtendo-se assim o vão máximo de 4,13m. Então, considerando a referida regra segue-se que  $4,13\text{m}/20=0,20\text{m}$  e  $0,20\text{m}/2=0,10\text{m}$ , obtendo-se uma secção de  $0,20\text{m}\times 0,10\text{m}$ , com um espaçamento de  $0,60\text{m}$ .

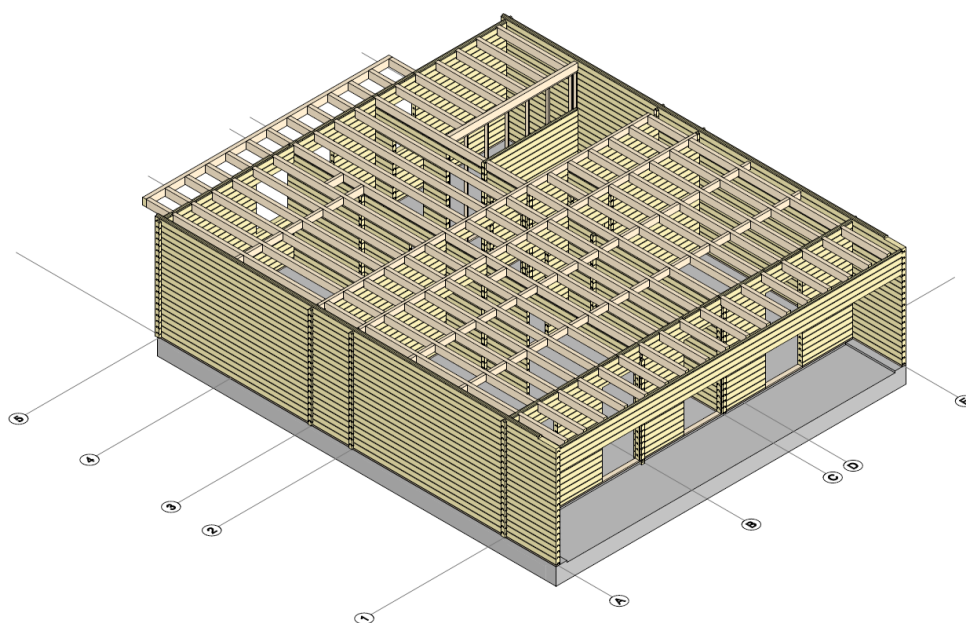


Fig. 418 - Axonometria da estrutura das paredes do piso térreo e do pavimento do piso 1.



A solução aparentemente mais económica, se não existissem as consolas, consistiria em prever a direcção as vigas na direcção perpendicular aos vãos menores. Desta forma as vigas secundárias poderiam ter uma secção de 0,175x0,0875m. No entanto, a tentativa de conjugar esta disposição com a varanda e com a pala revelaram-se mais complexas do que a solução proposta.

#### 5.4.1.8 DEFINIÇÃO DOS PAVIMENTOS EM CONSOLA (TOROS)

O pavimento do piso 1 apresenta uma solução de varanda a sul com 1,50m de balanço que é parcialmente resolvida com as vigas que se prolongam para o interior cerca de três vezes a dimensão do balanço. Sendo esta no entanto uma solução especial deveria ser submetida à discussão com a Engenharia estrutural.

Esta solução contempla vigas exteriores que se ligam às paredes da envolvente, não sendo por isso a melhor opção do ponto de vista das exigências térmicas e de durabilidade. No entanto as vigas e as zonas de rompimento não estão directamente expostas ao ambiente exterior podendo as zonas mais sensíveis em redor das vigas (do lado exterior) ser revestidas com isolamento térmico adicional.

No caso da pala não visitável localizada na fachada norte, sendo o balanço de 800mm a situação resolve-se sem dificuldade, embora uma vez mais implique o rompimento da envolvente, requerendo os já referidos cuidados adicionais em termos de estanquidade e isolamento térmico.

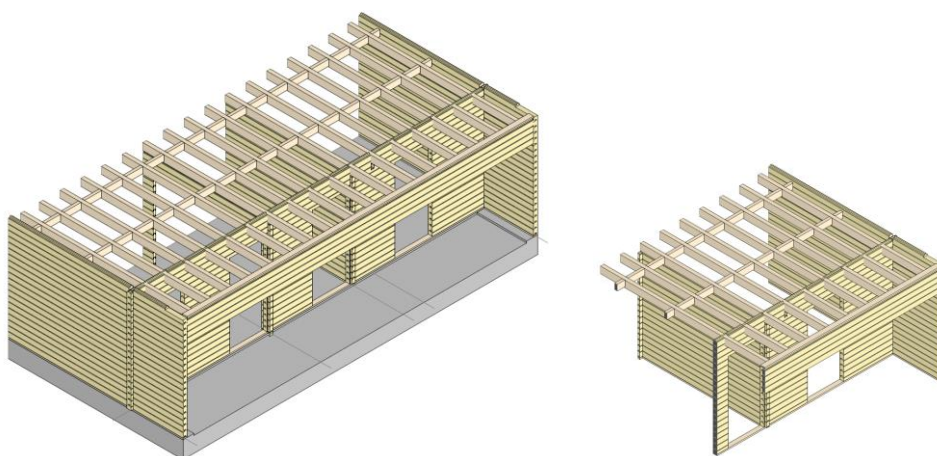


Fig. 419 - Varanda sul.

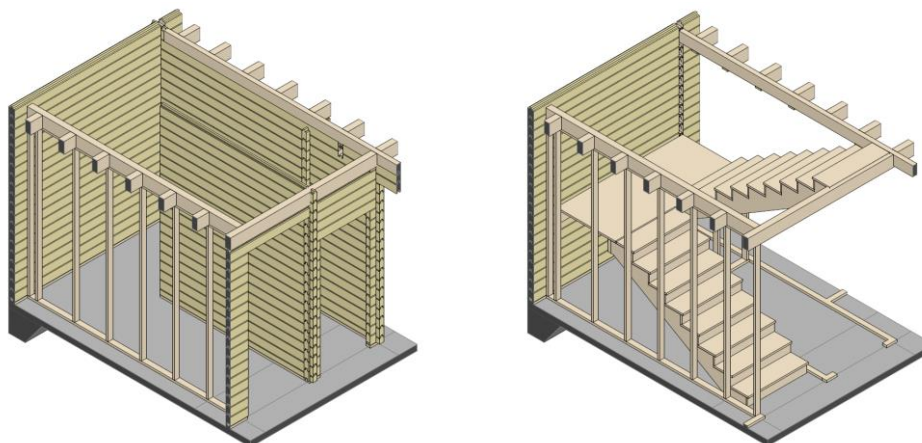


Fig. 420 - Vazio das escadas.

#### 5.4.1.9 REFORÇOS PARA ABERTURAS EM PAVIMENTOS E ESCADAS (TOROS)

O vazio das escadas levanta em princípio apenas problemas de detalhe na medida em que a ligação das escadas ao pavimento superior deve ter em conta o assentamento das paredes (cf. Figura 420). Deve efectuar-se uma pormenorização em que a ligação da escada à viga do pavimento superior permita que esta acompanhe o assentamento da construção sem fracturar nenhum componente estrutural nem os revestimentos. Em todos os restantes pontos de contacto das escadas com as paredes deve ser deixada uma junta sem ligação, eventualmente coberta com rodapé ou mata juntas ligados apenas às escadas.

#### 5.4.1.10 DEFINIÇÃO DE PAREDES DO PISO SUPERIOR (TOROS)

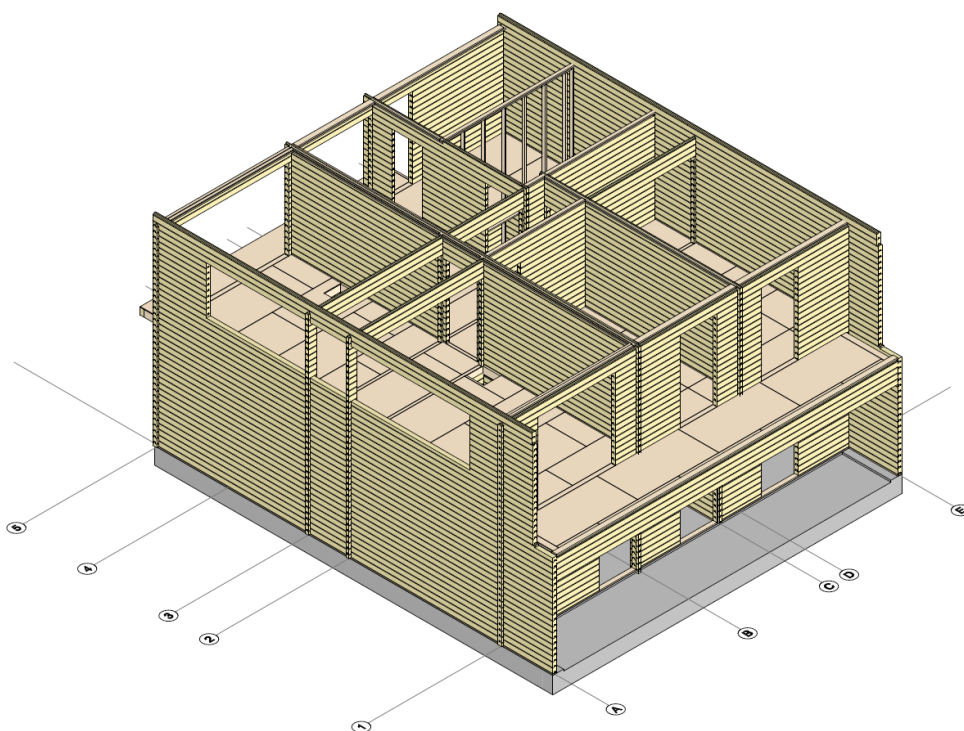


Fig. 421 - Compartimentação do piso superior.

As paredes do piso superior adoptam o mesmo princípio das paredes do piso inferior. O topo das paredes laterais, Este e Oeste, deve ser preparado para receber os entalhes das vigotas de cobertura e das vigotas de tecto, enquanto as paredes sul e norte devem receber a travessa de soleira a partir da qual arrancam os montantes que constituirão as paredes de empena triangulares da cobertura.

#### 5.4.1.11 DEFINIÇÃO DO TECTO DO PISO SUPERIOR (TOROS)

No caso do tecto do piso superior, que no futuro poderá vir a servir um espaço habitado sob a cobertura, adoptou-se uma solução semelhante à do pavimento do caso de estudo do sistema reticulado, com as vigas a vencerem o vão menor e com o mesmo tipo de secções.

A introdução de um tecto estrutural permite eventuais ampliações no futuro e proporciona um suplemento de travamento da estrutura permitindo também com facilidade obter um suporte para os revestimentos de acabamento.

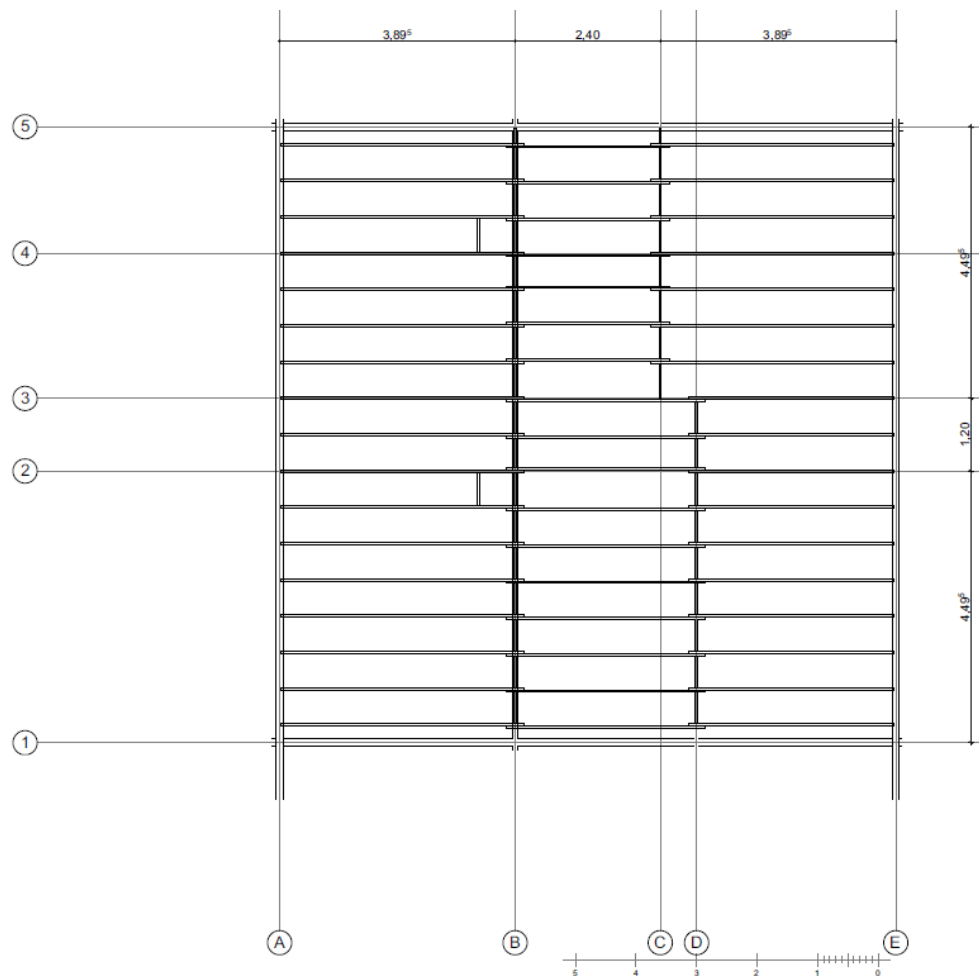


Fig. 422 - Planta do pavimento do Piso 1

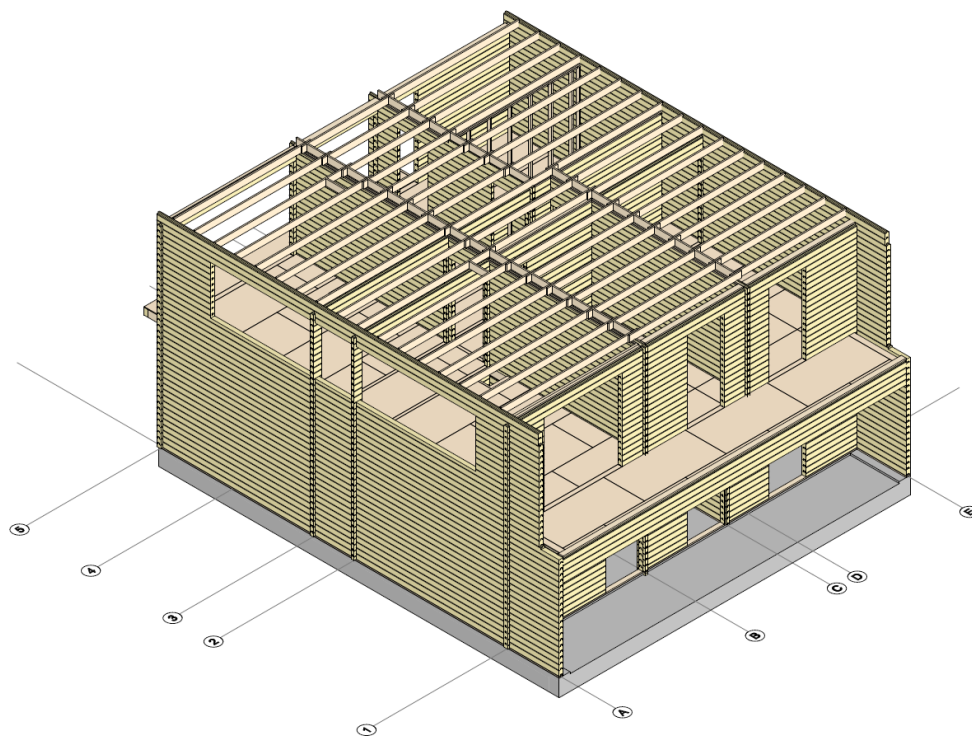


Fig. 423 - Axonometria do pavimento do piso 1



#### 5.4.1.12 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES VERTICAIS (TOROS)

Para a definição das dimensões verticais da estrutura a referência mais notável a seguir terá que ser o módulo vertical do toro. Sendo assim, a cota do piso superior e a cota da linha da cobertura devem ser adaptados a esta modulação (com um módulo base de 7,5cm - 15cm). A definição da altura do lintéis de vãos e peitoris deve também seguir esta modulação.

Devem ser verificados todos os elementos de construção que podem colidir com o assentamento global da estrutura: isolamento da envolvente, paredes reticuladas, escadas, móveis de cozinha, infraestruturas e chaminés. Esses elementos devem ser objecto de pormenorização específica que desenvolva juntas e ferragens deslizantes ou ligações fixas apenas ao longo de uma faixa horizontal, bem como réguas de remate apropriadas a cada situação (para cobrir as juntas).

#### 5.4.1.13 DEFINIÇÃO DA COBERTURA (TOROS)

Para a definição da cobertura optou-se, como já foi referido, pela solução aligeirada, semelhante à adoptada no caso de estudo do sistema reticulado leve. No entanto o sistema de toros é um caso especial na medida em que a estrutura é colocada no exterior devendo ser protegida através de balanços da cobertura. Sendo assim, optou-se por balançar os beirados a nascente e poente e por projectar a cobertura a norte uma vez que a fachada Sul já estava protegida na proposta de solução original. Esta exigência obriga à definição de vigotas de projecção adicionais a norte. As características formais da solução formal são assim definitivamente alteradas devida à decisão de responder aos requisitos mínimos de durabilidade da estrutura (cf. Figura 425).

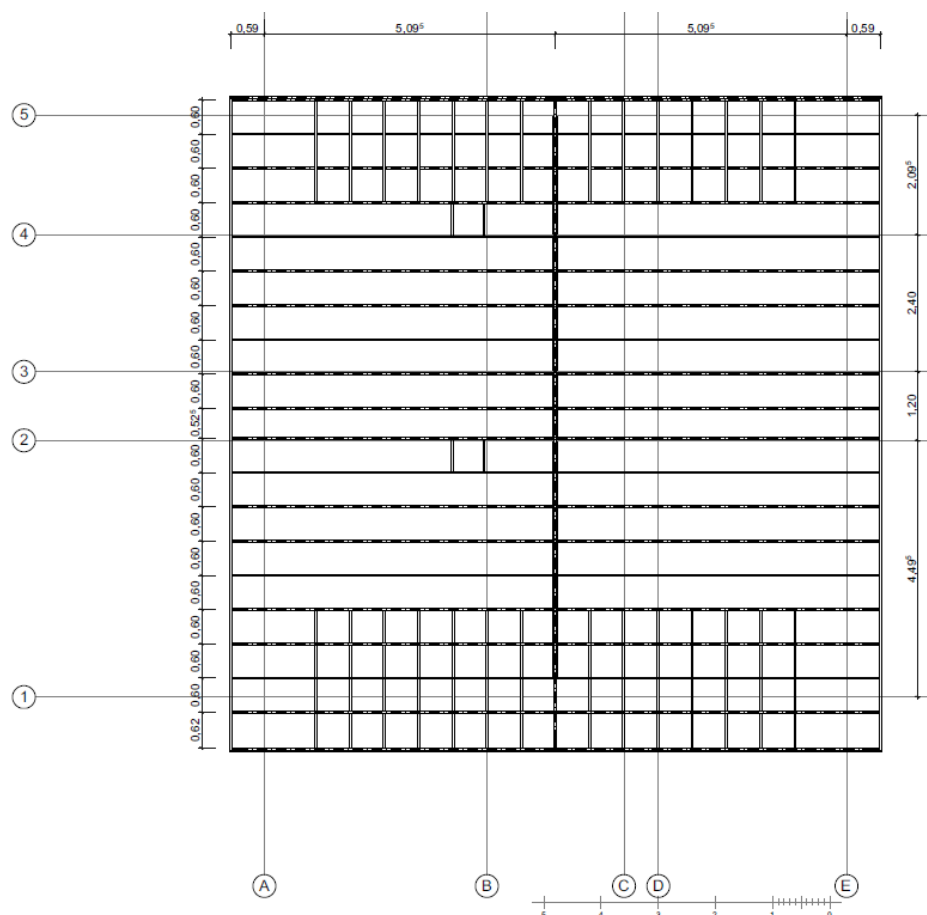


Fig. 424 - Vigamento da cobertura.

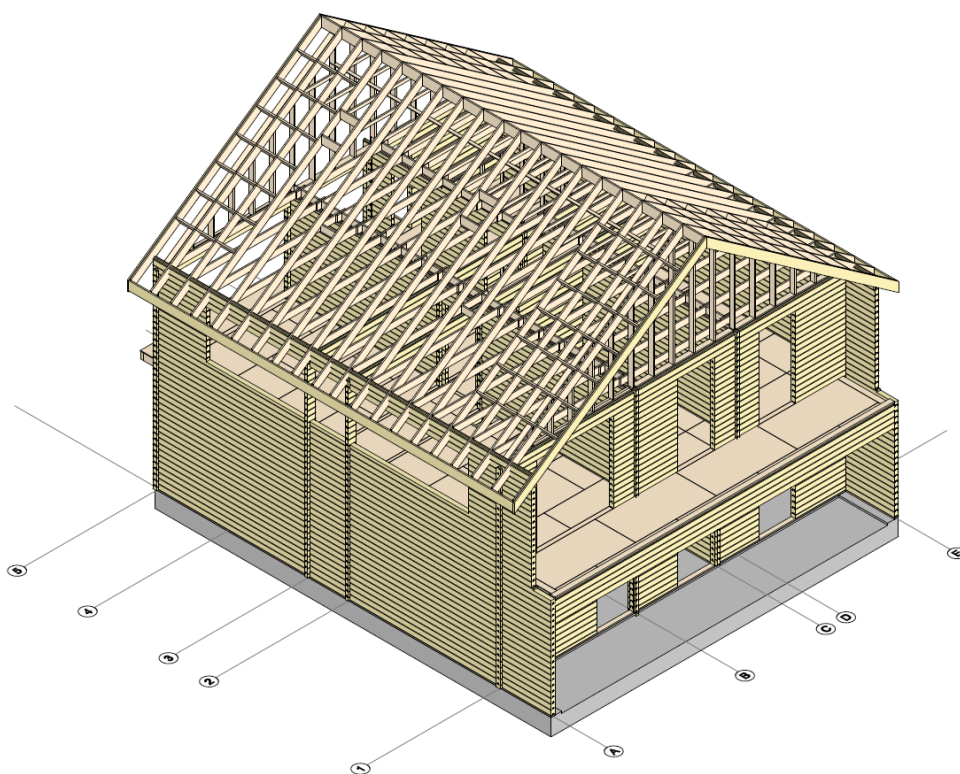


Fig. 425 - Cobertura.

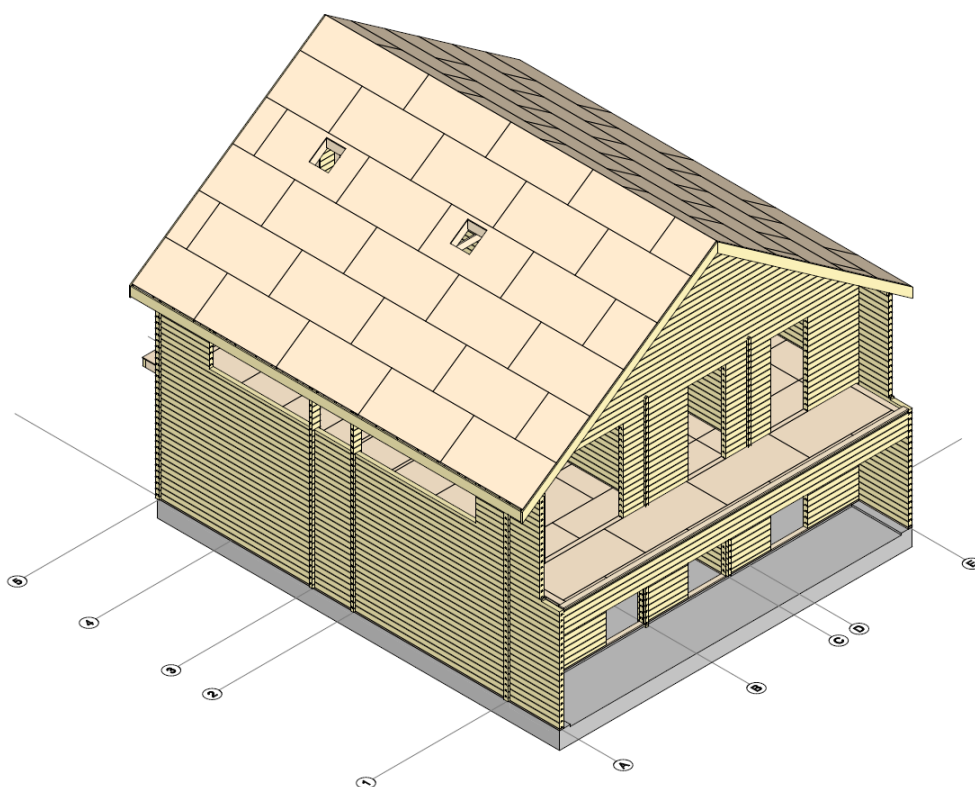


Fig. 426 - Revestimento estrutural da cobertura.

#### 5.4.1.14 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS (TOROS)

Para o revestimento estrutural dos pavimentos utilizou-se a mesma solução que nos pavimentos dos sistemas de reticulados leves. Consultaram-se as tabelas (tabela 22) (CMHC, 2013a, p. 287), obtendo-se o valor de espessura mínima de 18,25mm (23/22"). Perante este

condicionamento poderiam utilizar-se painéis de 2440x1196x18mm com bordos rectos (classe OSB2 - uso estrutural em ambiente seco tipo *Kronoply*) (Kronofrance, 2015).

#### 5.4.1.15 REVESTIMENTO ESTRUTURAL DA COBERTURA (TOROS)

Para o revestimento da cobertura foi utilizada a mesma solução do caso de estudo do sistema reticulado.

#### 5.4.1.16 REVESTIMENTOS INTERIORES (TOROS)

No pavimento do piso térreo propõe-se mosaicos cerâmicos com 10mm de espessura. No pavimento do piso superior opta-se por réguas de madeira maciça de 100mm de largura e 20mm de espessura aplicado directamente sobre as placas de OSB. Para os revestimentos das paredes da envolvente são aplicados painéis de gesso cartonado com 12,7mm (1/2") (KNAUF, 2015) montados sobre uma estrutura de sarrafos de 25x40mm. Nos tectos aplicam-se também painéis de gesso cartonado aplicados sobre uma estrutura de sarrafos de 19x89mm (1"x4") (CMHC, 2013a, p. 227) entre os espaços das vigas de modo a que estas possam ficar expostas. Nos ambientes húmidos das casas de banho e da cozinha recorre-se a placas de fibras de celulose e gesso, tipo Fermacell." As paredes de compartimentação dos espaços interiores são constituídas pelos toros à vista.

#### 5.4.1.17 ENVOLVENTE (TOROS)

Na constituição das paredes exteriores, propôs-se uma solução com toros de 120mm, com uma tela estanque transpirante, seguida (na direcção do interior) de uma camada de isolamento térmico com lã de rocha (numa espessura total de 85mm), aplicado entre uma estrutura com um duplo ripado (vertical com 45x25mm e horizontal com 40x25mm), sobre a qual se aplica uma barreira pára vapor, seguindo-se depois um ripado vertical de 25mmx40mm, sobre o qual se aplicam placas de gesso cartonado.

Esta solução de parede teria uma espessura de 243mm e um coeficiente de transmissão térmica de 0,35 U W/(m<sup>2</sup>.°C). Se se pretendesse ir ao encontro do valor de referência para a zona mais desfavorável em Portugal, deveria aumentar-se a camada de isolamento térmico de lã de rocha para 110mm, obtendo-se deste modo uma espessura de parede de 268mm e um valor de 0,30 U W/(m<sup>2</sup>.°C).

*O revestimento dos pavimentos interiores deve potenciar o contributo da massa térmica da laje. Propõe-se assim, a aplicação de pavimento cerâmico de 10mm de espessura sobre uma betonilha de regularização de 50mm, sobre uma laje com 100mm que, como já foi referido, deve ser instalada sobre uma tela de isolamento contra a humidade e sobre uma camada de isolamento térmico de XPS com 5cm (2"), sobre cerca de 10cm de gravilha (Thalon, 2009, p. 25). Esta solução terá um coeficiente de transmissão térmica U=0,29 W/(m<sup>2</sup>.°C). Para obter um valor próximo do valor de referência U=50 W/(m<sup>2</sup>.°C), bastaria recorrer a uma espessura de isolamento térmico de 15mm, obtendo-se neste caso um U=0,48 W/(m<sup>2</sup>.°C).*

*Propõe-se para revestimento de acabamento exterior da cobertura um revestimento em chapa metálica com junta agrafada com 0,7mm de espessura tipo Rheinzinc (Rheinzinc, 2015), instalada segundo as especificações do fabricante sobre uma tela estanque respirante assente sobre a chapa de OSB. Deverá haver uma caixa-de-ar entre o OSB e o isolamento térmico (com cerca de 80mm) que será instalado entre as vigotas de cobertura e finalmente será instalado o acabamento em painéis de gesso com uma barreira de vapor entre estes e as vigotas (Rheinzinc, 2015)." O isolamento térmico da cobertura pode ser realizado através de uma solução de lã de rocha em painéis de 584x1219mm, com 155mm de espessura.*

*A opção por uma chapa metálica tem vantagens relacionadas com a sua leveza, um tempo de vida médio (cerca de 30-50 anos e um custo médio. As soluções mais duráveis como as telhas cerâmicas e as ardósias são mais caras e mais pesadas e as soluções mais económicas como as shingles de asfalto têm um tempo de vida inferior (Wing, 2009, p. 250)”. As soluções com shingles de madeira, que seria especialmente interessantes em combinação com os toros de madeira não foram consideradas devido a restrições regulamentares.*

*A solução proposta para a cobertura teria uma espessura final de 273mm e um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ . Poderia ser considerada uma solução alternativa com isolamento térmico pelo exterior da estrutura. Neste caso, a chapa com juntas agrafadas seria instalada sobre uma tela estruturada estanque respirante (VAPOZINC), com 0,8mm, sobre o uma camada de isolamento de poliuretano com 0,85mm aplicado em duas camadas que assentaria sobre as placas de OSB. Pelo interior das vigotas de cobertura seria montado um tecto de painéis de gesso cartonado. Neste caso, o coeficiente de transmissão térmica seria igual ao da solução anterior, mas seriam reduzidas as pontes térmicas e aumentada a espessura total para 358mm.*

#### 5.4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE PAREDES PESADAS DE TOROS

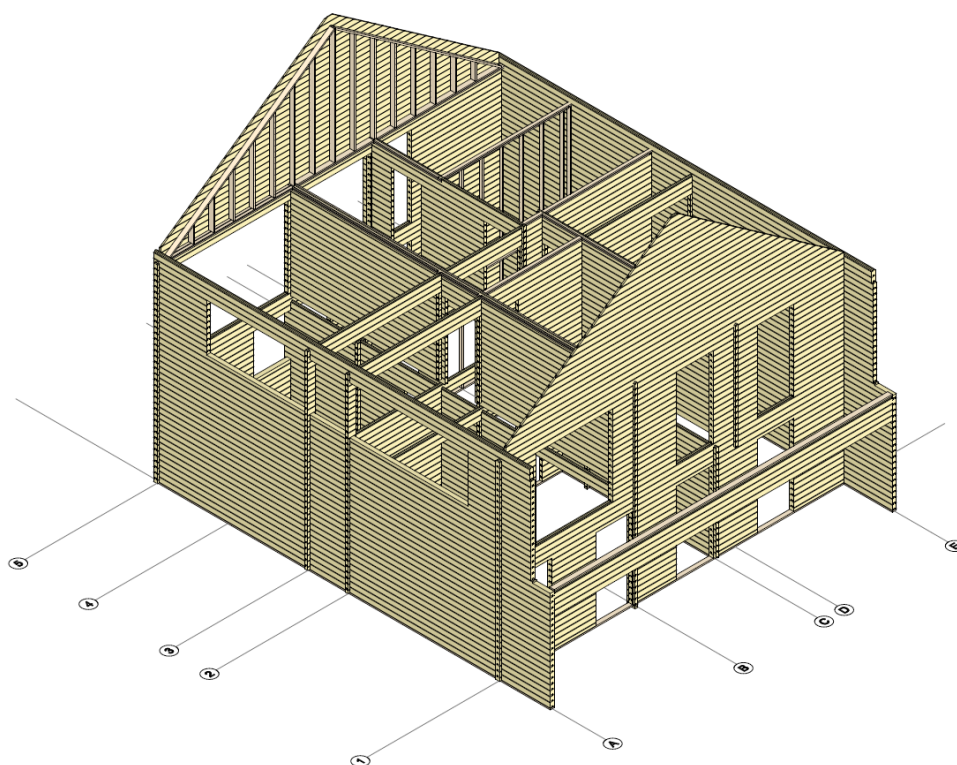


Fig. 427 - Axonometria da estrutura (elementos verticais).

Do ponto de vista do caso de estudo, pode ser efectuada uma avaliação do sistema construtivo com base nos seguintes factores:

1. Integração do tipo estrutural nas pré-definições do modelo formal.
2. Limitações dimensionais da estrutura.
3. Limitações do ponto de vista da durabilidade.
4. Simplicidade/Complexidade do sistema global.

#### 5.4.2.1 ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE TOROS AO MODELO FORMAL

A adaptação do tipo estrutural não conduziu a alterações significativas das dimensões espaciais do modelo formal pré-definido. Algumas situações, nomeadamente as que obrigam a maiores vãos como a abertura na fachada oeste devem ser objecto de análise estrutural cuidada, podendo exigir soluções especiais.

A integração do tipo estrutural conduz a alterações muito significativas das características simbólico-arquitectónicas do modelo formal pré-definido. O facto de a estrutura coincidir com a envolvente conduz a uma Arquitectura marcada pela expressão da solução estrutural. Embora o carácter tradicional da madeira possa ser amenizado através de pinturas de cores claras, a presença tão ampla da madeira terá sempre grande impacto. Outro aspecto com impacto na expressão formal é o da necessidade de protecção das juntas de lintel e das ombreiras com perfis de remate que também acabam por ter um importante impacto visual. A projecção das coberturas é do ponto de vista da forma o aspecto que mais marca a alteração da Arquitectura, tal como tinha sido pensada originalmente (cf. Figura 428).

As restantes alterações e adaptações são de pormenor, relacionando-se com adaptação das cotas de pavimento e cobertura e dos vãos à modulação vertical dos toros, e com também pequenas adaptações às dimensões das paredes exteriores e interiores.

Poderiam no entanto efectuar-se esforços no sentido de se optar por soluções que tornassem a estrutura de toros menos tradicionalista. A escolha de uma pintura branca, a adopção de coberturas planas, a utilização de entalhes de canto sem saliências ou o revestimento dos mesmos, são alguns dos recursos que poderiam ser utilizados. No limite, a solução de utilização de revestimentos exteriores pode também ser utilizada, podendo optar-se por mostrar os toros no interior. A ponderação de soluções deste tipo levará a pensar no entanto que estes recursos acabam por destruir alguns dos aspectos mais interessantes do sistema. A solução que se obtém revestindo os toros pelo exterior com régua de madeira pode ser obtida por outros sistemas construtivos com menores custos e economia de recursos.



Fig. 428 - Resultado da solução arquitectónica depois da adaptação do sistema formal ao sistema construtivo.

Este é um sistema que ao contrário dos restantes tem nos revestimentos exteriores uma flexibilidade quase nula depois de escolhida a estrutura. Na construção com toros a flexibilidade pode ser encarada apenas antes da concepção, baseada na variedade de escolhas em relação às secções de toros, aos tipos de madeira e às juntas de canto que podem ser adoptadas. Depois de escolhida a solução, a estrutura não deverá admitir outras alterações. Consequentemente também os aspectos formais ficam condicionados a não ser, como se referiu, no caso limite em que se adoptam revestimentos exteriores, tal como historicamente sucedia em casos de degradação dos toros, ou quando se pretendia melhorar o comportamento térmico e de estanquidade da envolvente. O grande interesse deste sistema reside precisamente na coincidência global entre estrutura, envolvente e compartimentação.



A flexibilidade do sistema formal em termos volumétrico-espaciais não apresenta limitações em relação às dimensões correntes dos espaços interiores, mas o sistema é muito mais rígido e menos aberto a adaptações e alterações futuras que os sistemas testados anteriormente. Por outro lado, sendo um sistema de paredes portantes pesadas há menor flexibilidade na localização de paredes em pisos superiores que não estejam no mesmo alinhamento das inferiores. Soluções de dois e mais pisos, exigem um cuidado especial em termos de verificação do comportamento estrutural. As soluções de espaços amplos são também mais limitadas porque devem haver paredes interiores ligadas às exteriores para garantir a estabilidade da solução global. O sistema de toros não é adequado a soluções de grandes vãos envidraçados, sendo possível verificar que algumas soluções de grandes envidraçados que é possível observar nos portfólios de empresas de casas de madeira acabam por fazer recurso a soluções híbridas de toros e porticados.

A flexibilidade do sistema em relação aos detalhes é relativamente limitada uma vez que a madeira exige detalhes específicos nomeadamente ao nível das juntas entre elementos. A adopção de detalhes mais consonantes com soluções modernas e contemporâneas tem custos a nível de durabilidade. A adopção de medidas naturais de durabilidade conduz à opção natural por soluções mais tradicionais. Veja-se o caso das molduras, e dos beirados que se incluíram na proposta adaptada.

#### 5.4.2.2 LIMITAÇÕES DIMENSIONAIS DA ESTRUTURA (TOROS)

As limitações dimensionais da estrutura relacionam-se com o facto de o sistema ter por base paredes portantes formadas por muitas ligações horizontais, limitando de algum modo as alturas da construção e condicionando a rigidez do conjunto. Uma vez que as soluções para pavimentos e coberturas não são específicas deste sistema podem equacionar-se várias soluções relacionadas com os reticulados leves ou com os porticados em função do contexto de cada caso. As restantes limitações relativamente a consolas de varandas e palas são as mesmas que se colocam no sistema de porticados.

#### 5.4.2.3 LIMITAÇÕES DO PONTO DE VISTA DA DURABILIDADE (TOROS)

As paredes exteriores são o ponto mais delicado da construção, devendo ser protegidas pelas projecções da cobertura e por tratamento específico. Os pontos críticos nos sistemas anteriores são agravados no sistema de toros pelo facto da envolvente ser estrutural. Assim, as penetrações de vigas do interior para o exterior, os detalhes de intersecção da varanda com a fachada, os detalhes de intersecção do pavimento da varanda com a fachada, as juntas entre toros, as ligações de canto dos toros, as juntas de lintéis e peitoris, os toros da base da construção são pontos que exigem muita atenção do projectista e verificação periódica depois da obra concluída.

#### 5.4.2.4 SIMPLICIDADE/COMPLEXIDADE DO SISTEMA (TOROS)

O sistema mostra-se simples, mas relativamente aos casos de estudo anteriores levanta muitas dúvidas ao projectista. As ligações entre elementos com diferentes lógicas como as vigas de pavimento e as vigas de cobertura e as paredes de toros e a necessidade de prever dimensões significativas de assentamento da estrutura podem conduzir a erros de projecto e de construção com alguma facilidade. A necessidade de introduzir camadas de isolamento térmico adicional aos toros torna a solução ainda mais complexa uma vez que também aqui é necessário prever que as ligações entre elementos da envolvente devem acomodar esses movimentos. A grande quantidade de juntas do sistema e a exposição dos toros ao ambiente exterior tornam-no bastante vulnerável.

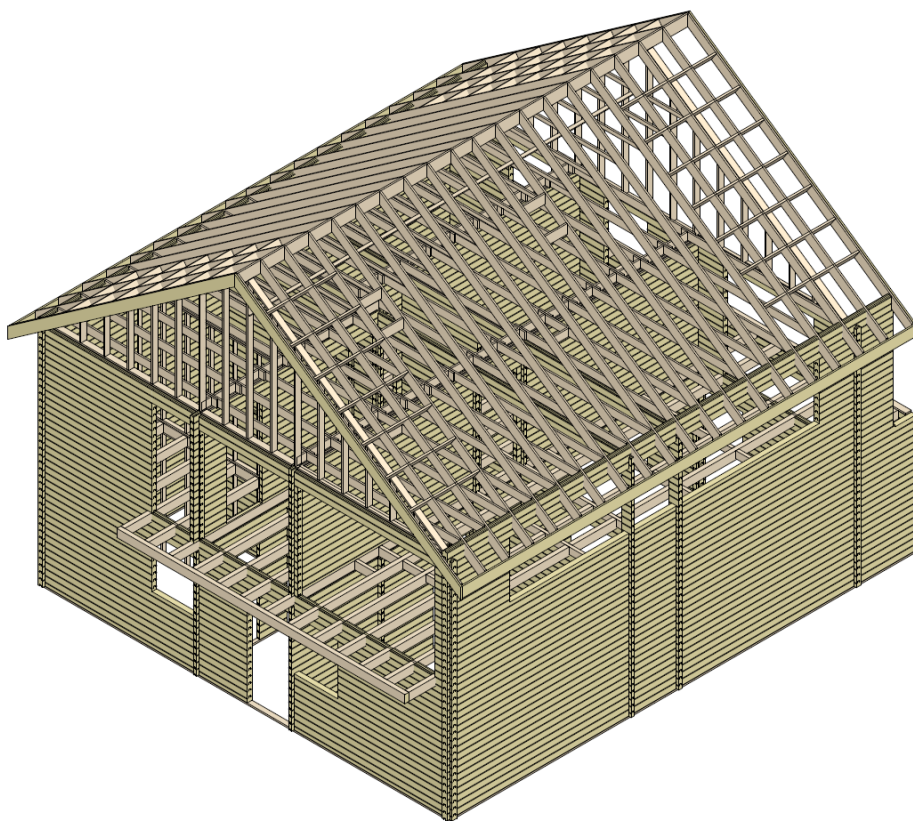


Fig. 429 - Axonometria noroeste da solução estrutural de paredes pesadas de toros.

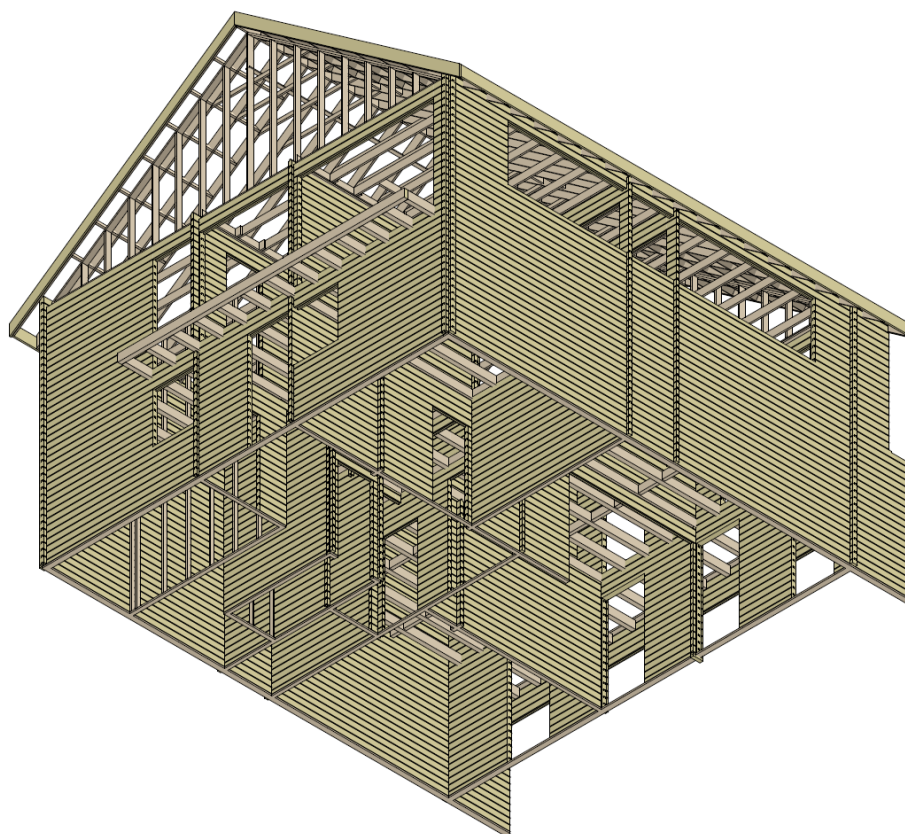


Fig. 430 - Axonometria noroeste inferior da solução estrutural de paredes pesadas de toros.



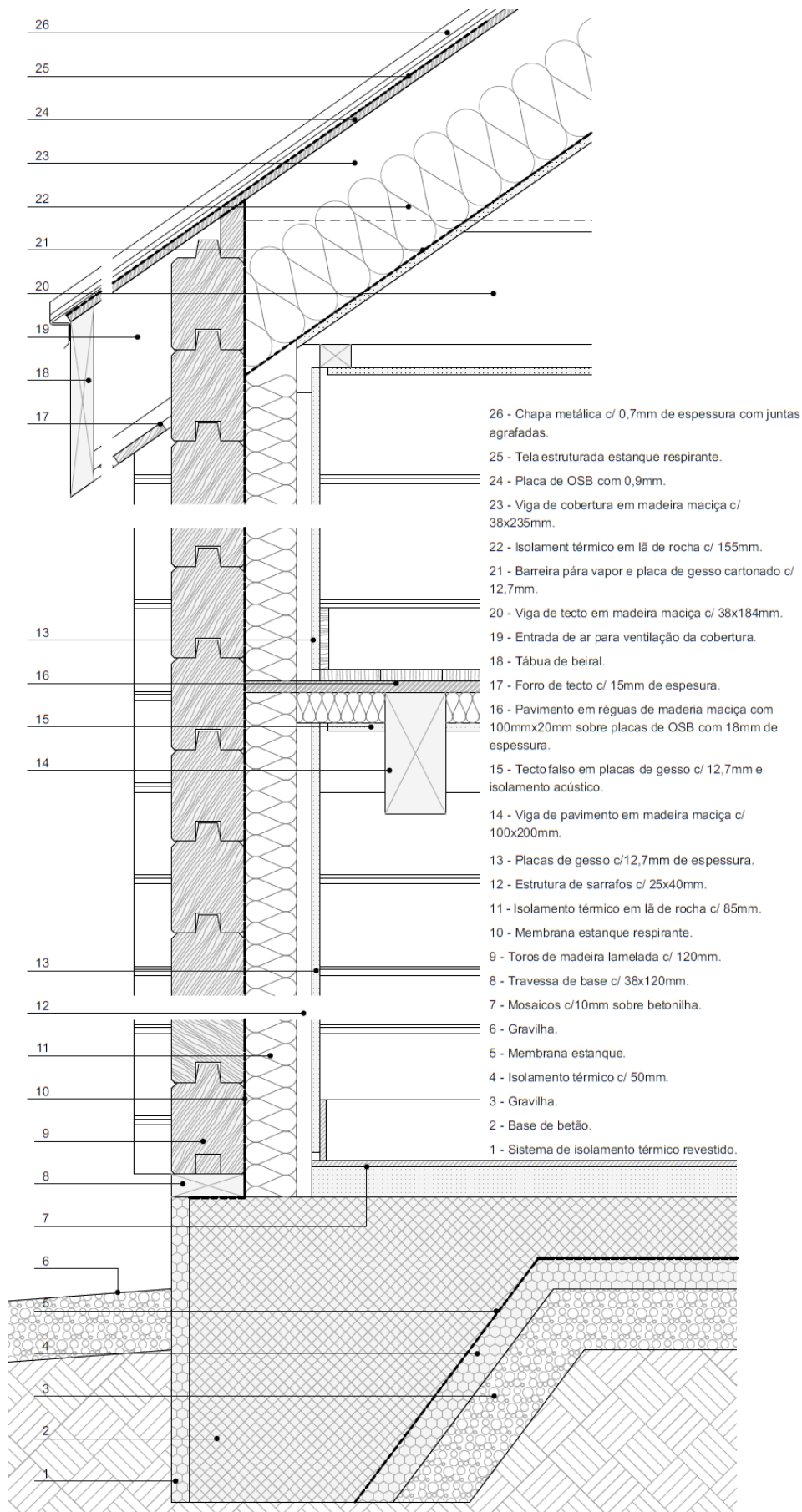


Fig. 431 - Corte construtivo pela fachada da solução de paredes pesadas de toros.

## 5.5 PROJECTO COM PAINÉIS PESADOS LAMELADOS COLADOS

### 5.5.1 CASO DE ESTUDO (Painéis CLT)



Fig. 432 - Perspectivas Noroeste e Sudeste da solução desenvolvida.

Desenvolveu-se um caso de estudo com base na solução arquitectónica desenvolvido no capítulo 5.1. O modelo formal considerado foi concebido tendo em conta a solução espacial e volumétrica com uma planta quadrada (10,00mx10,00m), com dois pisos sem cave. A opção pelo tipo simbólico contemporâneo, introvertido urbano determinou as restantes características da solução. Depois de desenvolvido da solução ao nível de estudo prévio, a tarefa seguinte consistiu em adaptar a esse modelo um determinado sistema construtivo. Este sistema construtivo por sua vez, embora sendo constituído pelos subtipos de envolvente, de compartimentação e de estrutura, é dominado pela solução estrutural. Assim, a tarefa principal desta fase (caso de estudo) consiste em adaptar o tipo estrutural ao projecto arquitectónico desenvolvido previamente. O quarto e último tipo estrutural testado é o de painéis cruzados lamelados colados, designados normalmente por CLT (Cross Laminated Timber).

A divisão teórica do sistema construtivo nos tipos estrutural, de envolvente e de compartimentação, tal como no caso do sistema de reticulados leves e no sistema de paredes pesadas de toros não é neste caso estanque. Os painéis estruturais utilizados nas paredes exteriores e na cobertura são ao mesmo tempo uma componente importante da envolvente e também no caso das paredes interiores e dos pavimentos, os elementos estruturais são simultaneamente elementos de compartimentação.

#### 5.5.1.1 SISTEMA CONSTRUTIVO (PAINÉIS CLT)

O sistema construtivo de lamelados cruzados colados encontra-se no mercado comercializado por várias empresas cujos produtos têm algumas diferenças não só ao nível do processo de fabrico, mas também ao nível das características do produto, das dimensões, do comportamento, dos pormenores de execução e das regras a ter em conta na concepção dos projectos. Para este caso de estudo, tomaram-se como referência os painéis fabricados pela empresa KLH, representados em Portugal pela TISEM. Utilizaram-se dois tipos de painéis para a solução global: painéis de três estratos com 90mm de espessura para as paredes e painéis de cinco estratos com 140mm de espessura para o pavimento elevado. Para a solução da envolvente escolheu-se o revestimento de isolamento térmico pelo exterior com perfis e madeira como acabamento final.

A montagem dos painéis é muito eficaz porque a utilização de componentes de grandes dimensões e a possibilidade de montagem a partir do veículo de entrega, recorrendo a gruas, racionaliza as operações em obra. O processo de instalação também não é muito exigente nem exige conhecimento muito especializado.

#### 5.5.1.2 COMPONENTES E ELEMENTOS CONSIDERADOS (PAINÉIS CLT)

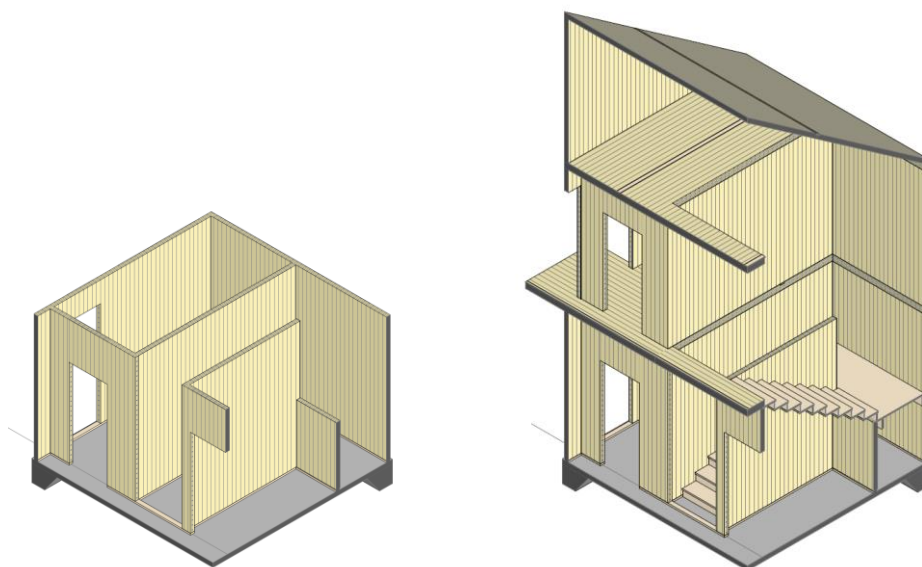


Fig. 433 - Tipo estrutural com os painéis de parede instalados sobre uma laje de betão aos quais se sucedem os restantes painéis de pavimento e cobertura.

Ao contrário dos outros sistemas estudados, todos os elementos construtivos (paredes, pavimentos e cobertura) podem ser montados a partir de componentes similares, específicos do sistema. O sistema apresenta também a flexibilidade de se poder recorrer aos painéis para produzir outros elementos construtivos como pilares, escadas e lintéis. Apesar de ser possível utilizar elementos de outros sistemas como as asnas ou as vigas de cobertura e compartimentações interiores com reticulados leves, neste caso de estudo optou-se por utilizar todos os componentes do sistema.

#### 5.5.1.3 GRELHA ESTRUTURAL (PAINÉIS CLT)

A definição de uma grelha estrutural com medidas moduladas não constitui um imperativo do sistema, adaptando-se este a qualquer definição genérica de distribuição espacial. No entanto, se um projecto for concebido no pressuposto de serem utilizados os painéis CLT, pode-se definir uma grelha auxiliar que integre as dimensões normalizadas dos painéis. Assim, os painéis de pavimento poderiam mais facilmente ser distribuídos aproveitando componentes com dimensões normalizadas. A mesma situação poderia ocorrer com as paredes de fabricantes que oferecem painéis de parede normalizados de pequenas dimensões (como a Binderholz por exemplo). Também as dimensões verticais devem ser adaptadas às alturas dos painéis, como se verá.

Utilizando os painéis com as espessuras recomendadas, deve considerar-se que os vãos até 4,00m não oferecerão dificuldades estruturais. No caso de estudo, surgem alguns vãos que ultrapassam esta dimensão, nomeadamente um com 5,50m e outro com 6,15m entre apoios. Estas situações deverão ser verificados através de cálculo, recorrendo-se a painéis de espessuras maiores ou resolvidos com auxílio de vigas complementares, por exemplo.

O potencial de utilização de paredes à vista com qualidade visual foi escolhida para todas as paredes de compartimentação interior, excepto nas instalações sanitárias e na cozinha onde as paredes exteriores recebem a aplicação de painéis gesso com fibras de celulose. Optou-se por revestir a face interior das paredes da envolvente com painéis de gesso, não só para garantir um melhor comportamento térmico, como também para promover uma maior segurança contra riscos de incêndio e uma barreira à migração de vapor.

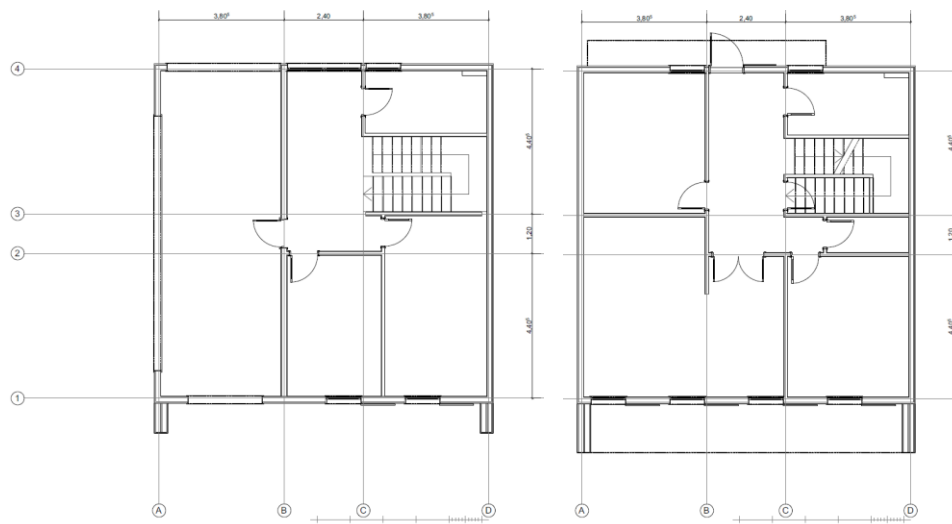


Fig. 434 - Grelha estrutural de posicionamento das paredes.

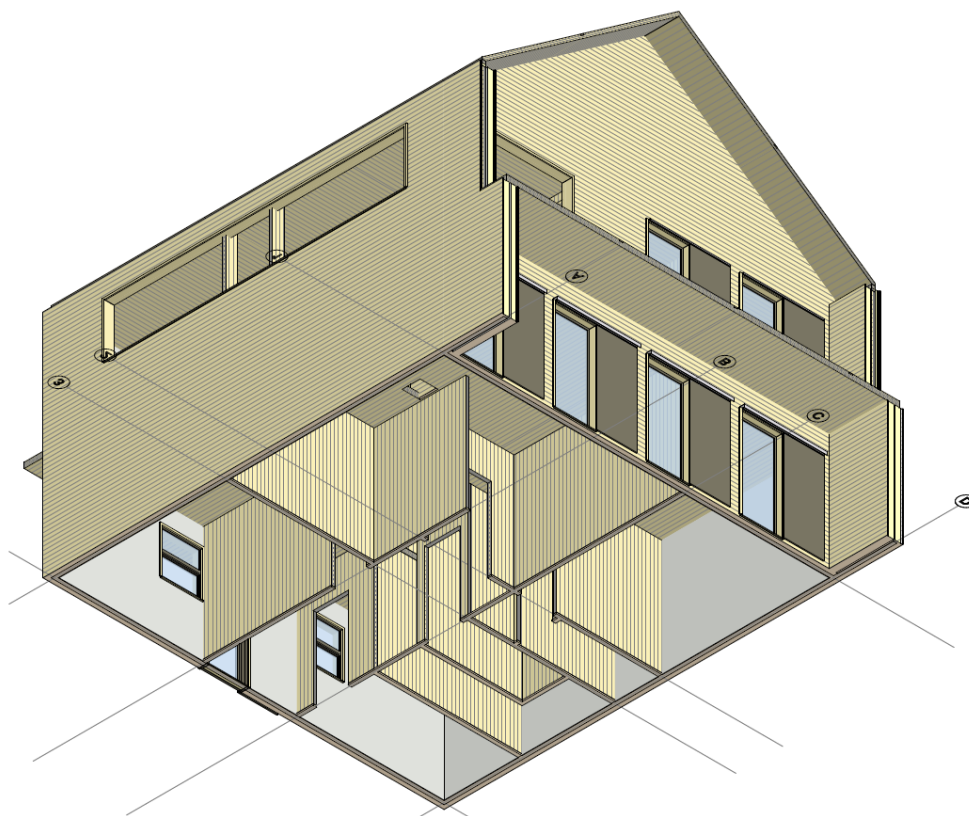


Fig. 435 - Axonometria inferior revelando a compartimentação especial dos espaços interiores com potencial de uso expressivo dos painéis deixados à vista (paredes interiores e tectos).

#### 5.5.1.4 PAVIMENTO TÉRREO (PAINÉIS CLT)

Para o pavimento térreo foi considerada como referência uma solução semelhante às dos sistemas anteriores, com uma laje com cerca de 10cm, devendo no entanto desenvolverem-se fundações contínuas ao longo dos eixos das paredes interiores com cerca e 30x50cm. Em princípio, uma laje armada com uma espessura entre 18cm e 20cm não necessitaria de sapatas. Ao contrário dos anteriores sistemas em que o pavimento do piso térreo pode ser executado em madeira, no caso dos painéis CLT, o betão armado é a solução normal.

Na pormenorização das paredes exteriores deve-se ter em atenção que a ligação destas ao betão da laje de pavimento deve ser isolada. Por outro lado, o acabamento de régua de

madeira devem projectar-se para o exterior do perímetro da laje de modo a que a caixa-de-ar possa ser eficazmente ventilada e a drenagem da água possa ser realizada sem obstruções. A distância do revestimento exterior das paredes ao solo deve ser semelhante à dos sistemas anteriores, devendo salvaguardar-se entre 15 a 30cm entre este e o solo envolvente.

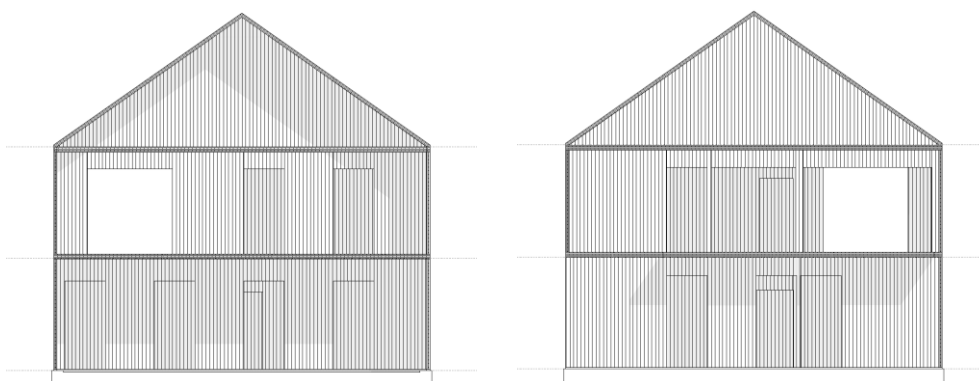


Fig. 436 - Alçados sul e norte.

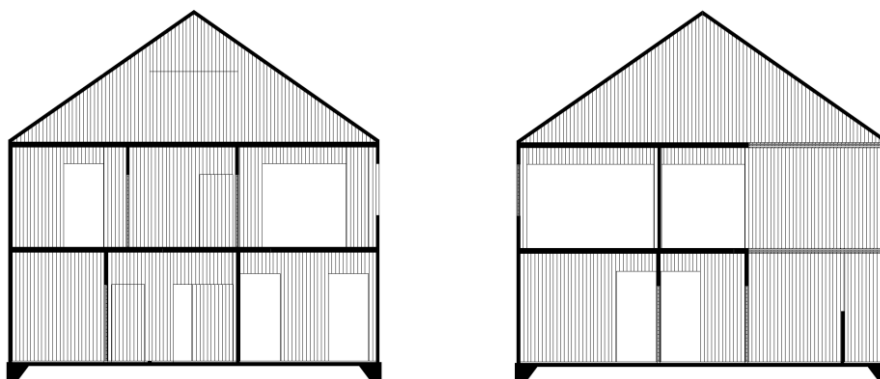


Fig. 437 - Cortes transversais.

#### 5.5.1.5 DEFINIÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES (PAINÉIS CLT)

As paredes exteriores são constituídas por painéis de 90mm, sobre uma travessa de pavimento em madeira tratada ancorada à laje. A ligação dos painéis à laje é efectuada por ligadores metálicos em L aparafusados a ambos os componentes. Optou-se por escolher painéis de alturas normalizadas como medida de racionalidade da construção. Assim, para o piso térreo escolheram-se painéis de 2,95m e para o piso superior painéis de 2,73m.

No caso da abertura de vãos deve ser estudada com apoio da Engenharia a necessidade de fraccionar os painéis em vários componentes. Haverá ainda três vãos (dois no alçado norte e um no alçado sul) que, dada a sua dimensão necessitam de lintéis específicos.

#### 5.5.1.6 DEFINIÇÃO DAS PAREDES INTERIORES (PAINÉIS CLT)

Para as paredes interiores utilizou-se o mesmo tipo de painel, devendo especificar-se a “qualidade visual” para os componentes que têm as faces visíveis para que possam ser deixadas com a madeira à vista. Nas casas de banho deve ser instalada uma camada de impermeabilização no pavimento e na base das paredes, sendo recomendável a aplicação de uma reduzida camada de enchimento com betonilha. Nas paredes os revestimentos cerâmicos são aplicados sobre os painéis de gesso com fibras de madeira. Para a parede onde encostam as louças sanitárias optou-se por fazer uma courete técnica para mais fácil integração das infraestruturas.

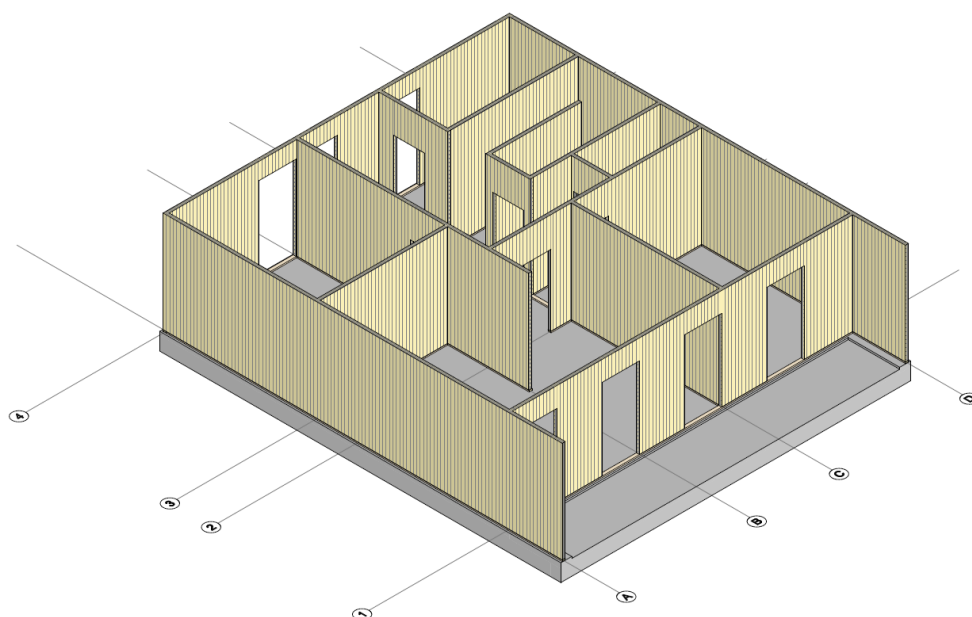


Fig. 438 - Axonometria do piso térreo com a compartimentação e a envolvente com painéis lamelados cruzados colados.

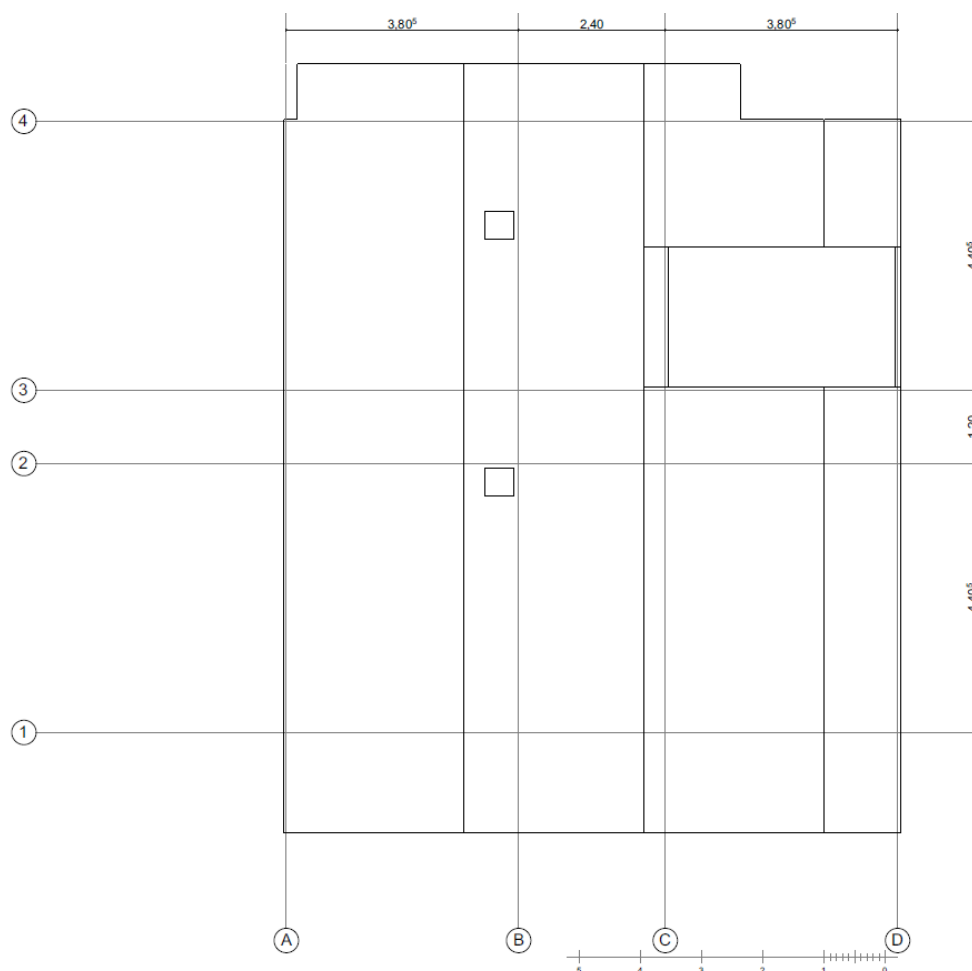


Fig. 439 - Planta da estrutura do pavimento do piso 1.

#### 5.5.1.7 DEFINIÇÃO DO PAVIMENTO SUSPENSO DO PISO SUPERIOR (PAINÉIS CLT)

Para a definição do pavimento do piso superior decidiu-se que a orientação dos painéis (o sentido das lamelas dos estratos superficiais) deveria realizar-se no sentido dos balanços



previstos na varanda a sul e na pala a norte. A forma mais racional de distribuir os painéis consistiu em utilizar painéis inteiros (com a largura de 2,95m) a partir da fachada Oeste deixando a maioria dos cortes para a fachada nascente onde se localiza a caixa de escadas. Assim, o comprimento necessário de 12,60m entre os pontos mais afastados das consolas opostas permitem configurar a utilização de dois painéis a todo o comprimento da construção. No segundo painel devem ser previstos os vazios para as chaminés que podem ser cortados em fábrica. Os restantes painéis são interrompidos pela caixa de escadas (cf. Figura 439).

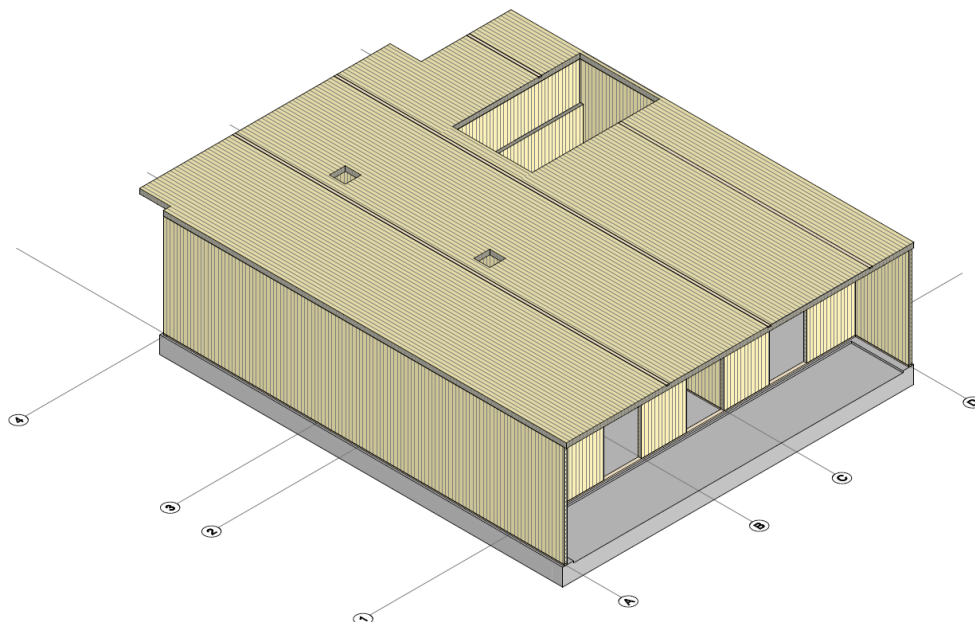


Fig. 440 - Axonometria da estrutura do piso térreo e do pavimento do piso 1.

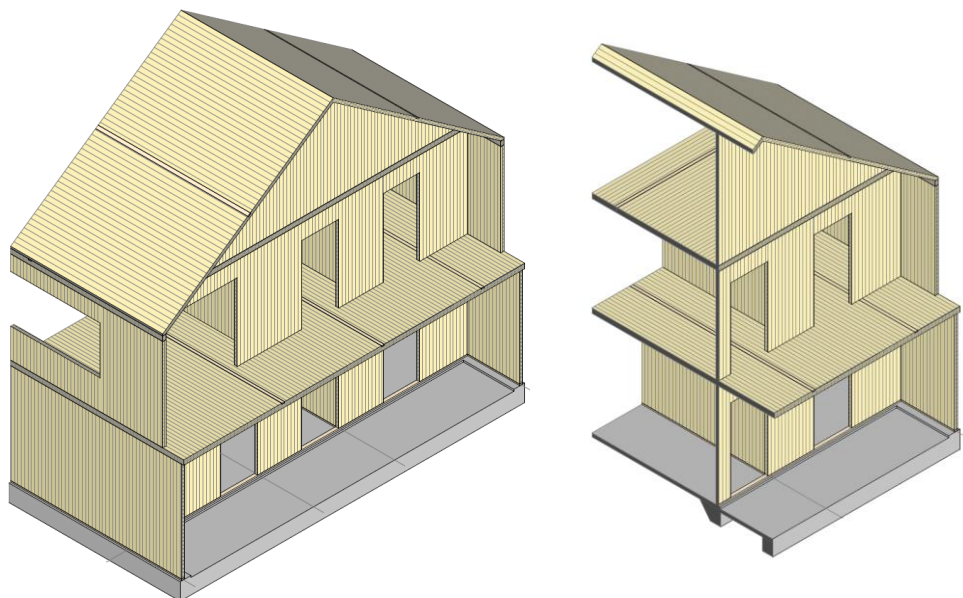


Fig. 441 - Varanda sul.

#### 5.5.1.8 DEFINIÇÃO DOS PAVIMENTOS EM CONSOLA (PAINÉIS CLT)

Os pavimentos em consola não oferecem problemas de qualquer ordem uma vez que o balanço previsto de 1,50m está dentro do limite aceitável neste sistema. Segundo a tabela de vãos da empresa XLAM NZ (XLAM NZ, 2015) um painel de cinco estratos com 145mm permite consolas de pavimento até 2,00m.



#### 5.5.1.9 DEFINIÇÃO DE PAREDES DO PISO SUPERIOR (PAINÉIS CLT)

Para as paredes do piso superior utiliza-se o mesmo princípio utilizado para as paredes do piso inferior. As paredes que não se sobrepõem às paredes do piso inferior em princípio não colocam problemas porque o desfasamento em relação ao piso inferior é de apenas 0,60m.

A parede com o vão exterior na fachada Oeste poderá ser reforçada com dois pilares executados com sobras dos cortes dos painéis, podendo servir também de suporte a vigas de tecto em caso de necessidade.

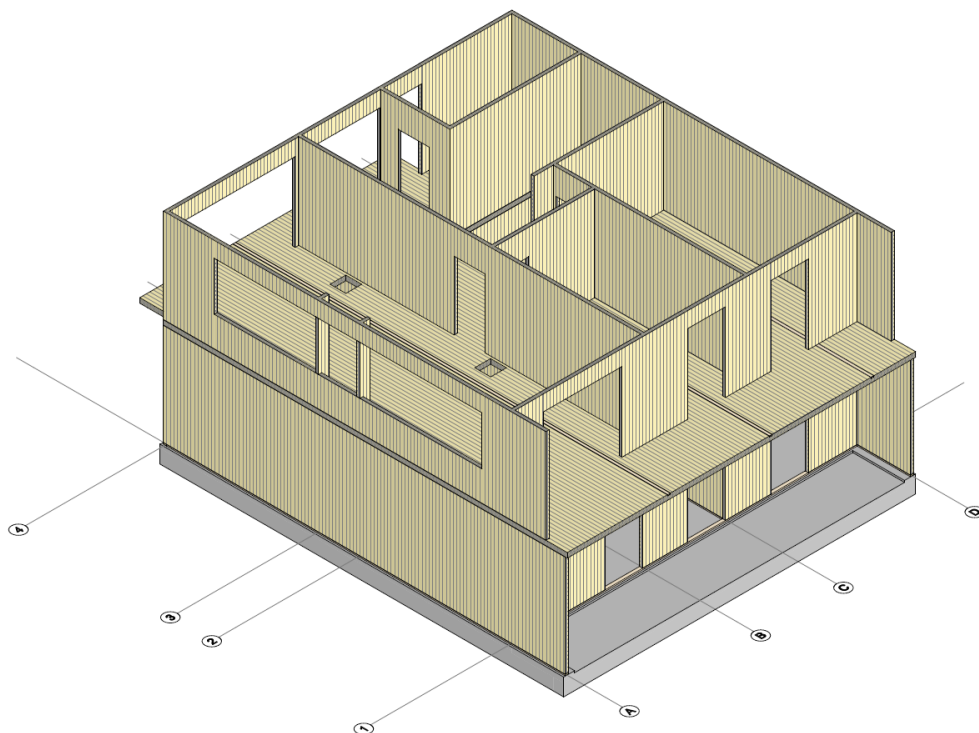


Fig. 442 - Compartimentação do piso superior.

#### 5.5.1.10 DEFINIÇÃO DO TECTO DO PISO SUPERIOR (PAINÉIS CLT)

Para a definição do tecto do piso superior, e na ausência de consolas, optou-se por utilizar a direcção que proporciona vãos de menor dimensão. Assim, ao contrário dos painéis do piso 1, os painéis de “tecto” (futuro pavimento) montam-se a partir da fachada sul, com 10,10m de comprimento, sendo necessário efectuar-se um conjunto de cortes no encontro com o vazio da caixa de escadas. A solução de deixar aberto estruturalmente o acesso ao piso superior (que poderá ser coberto com painéis de gesso cartonado), pareceu a mais lógica já que o corte do painel *a posteriori* seria de mais difícil execução.

Tanto neste pavimento como no do piso inferior, haverá necessidade de ligar os painéis horizontais entre si. Um dos modos de efectuar a ligação entre painéis consiste em inserir através de aparafusamento um elemento de madeira com a espessura do último estrato num entalhe feito nos dois painéis ao longo de toda a junta.

#### 5.5.1.11 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES VERTICAIS (PAINÉIS CLT)

Como foi referido as dimensões verticais foram definidas em função da altura dos painéis normalizados, com 2,95m no piso inferior e 2,73m no piso superior. Nos casos em que se pretenda poupar no custo dos painéis do piso térreo, pode recorrer-se a painéis de 2,40m e efectuar um murete sobre a laje de betão com a dimensão pretendida que eleve o painel relativamente à cota de soleira (neste caso seria um murete de 55cm).

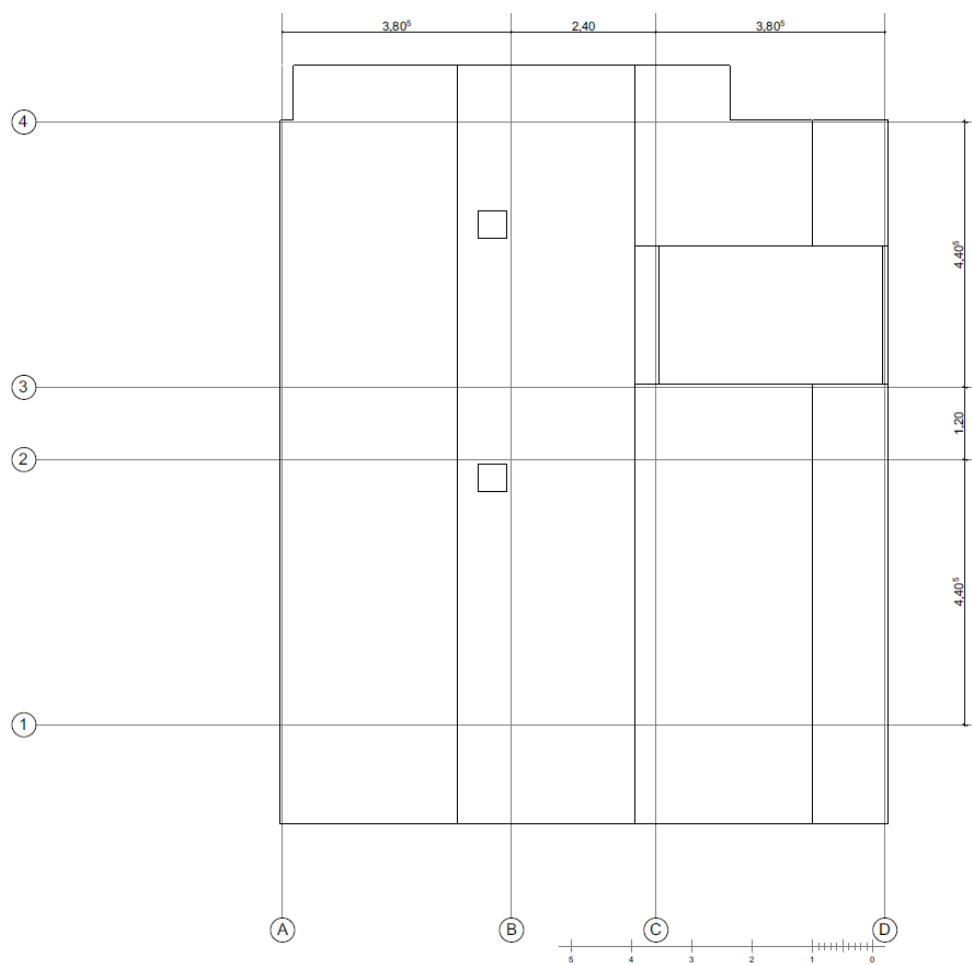


Fig. 443 - Planta do pavimento do Piso 1, mostrando a distribuição das juntas dos painéis.

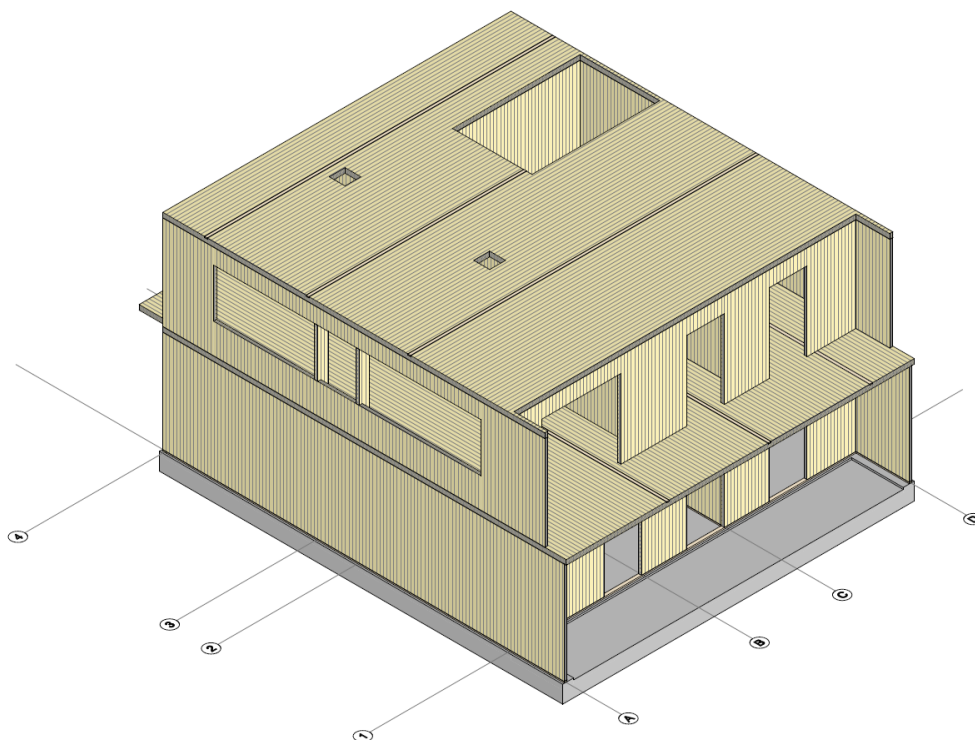


Fig. 444 - Axonometria do pavimento do piso 1.

#### 5.5.1.12 DEFINIÇÃO DA COBERTURA (PAINÉIS CLT)

A orientação dos painéis da cobertura foi efectuada tendo por base a necessidade de resolver as projecções da cobertura a sul. Assim, os painéis distribuem-se em dimensões de 2,90m desde as empenas até à cumeeira, cobrindo toda a profundidade da construção de sul a norte. Esta solução no entanto obriga à introdução de paredes interiores sobre as linhas de compartimentação dos pisos inferiores. Em termos espaciais preserva-se, tal como nos casos de estudo anteriores, um espaço habitável central que deverá ser utilizado no futuro.

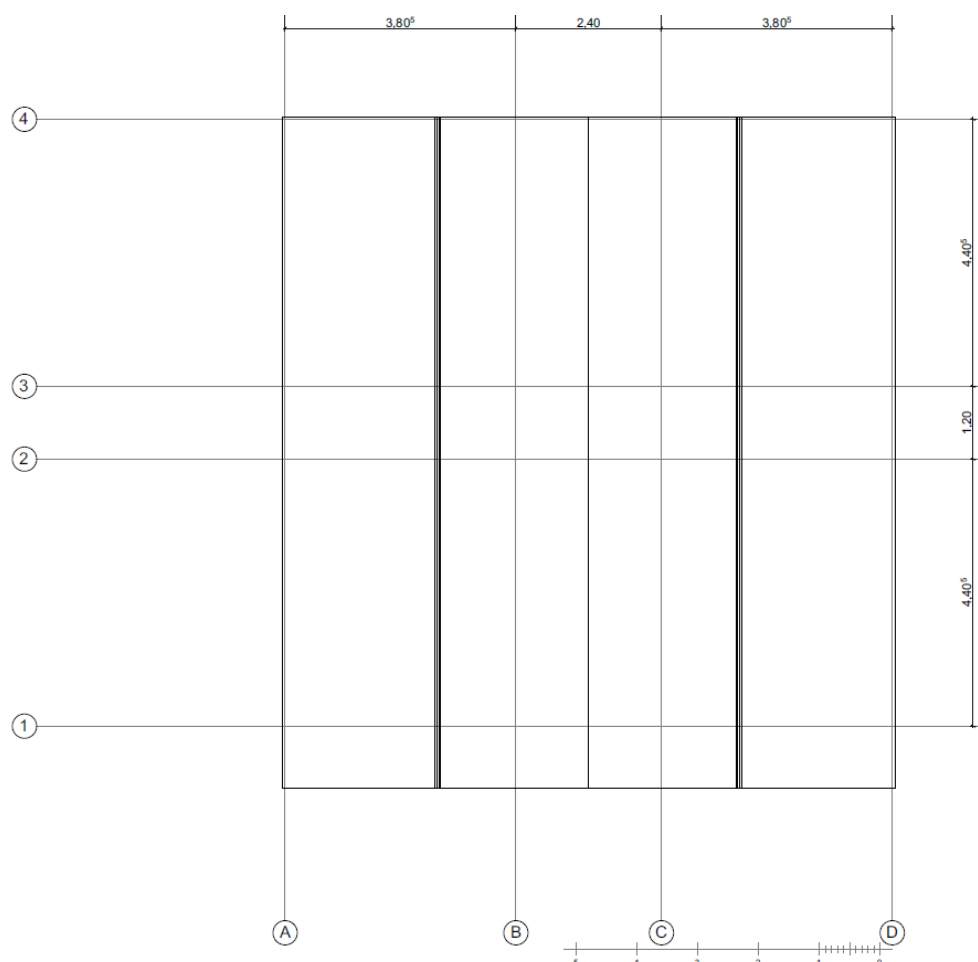


Fig. 445 - Painéis de cobertura.

#### 5.5.1.13 REVESTIMENTOS ESTRUTURAIS (PAINÉIS CLT)

Ao contrário dos outros sistemas o sistema de lamelados colados não necessita de revestimentos estruturais. No entanto a utilização de uma camada adicional de betonilha sobre os painéis será importante para melhorar o seu comportamento acústico e ao mesmo tempo permite resolver de forma eficaz a passagem das infraestruturas.

#### 5.5.1.14 REVESTIMENTOS INTERIORES (PAINÉIS CLT)

No pavimento do piso térreo propõe-se um acabamento com mosaicos cerâmicos com 10mm de espessura. No pavimento do piso superior opta-se por réguas de madeira maciça de 100mm de largura e 20mm de espessura aplicadas sobre uma camada de betonilha leve instalada sobre uma manta acústica que reveste os painéis de pavimento. Para os revestimentos das paredes da envolvente são aplicados painéis de gesso cartonado com 12,7mm (1/2") (KNAUF, 2015), montados directamente sobre os painéis. As paredes de compartimentação interior são deixadas com o acabamento natural dos painéis à vista.

Também os tectos são deixados com a estrutura de lamelados cruzados à vista. Apenas nas instalações sanitárias e na cozinha são instalados tectos falsos com painéis de gesso cartonado aplicados sobre uma estrutura de sarrafos de 19mmx89mm (1"x4") (CMHC, 2013a, p. 227). Para as paredes de ambientes húmidos como os das casas de banho e da cozinha recorre-se a placas de fibras de celulose e gesso, tipo *Fermacell*.

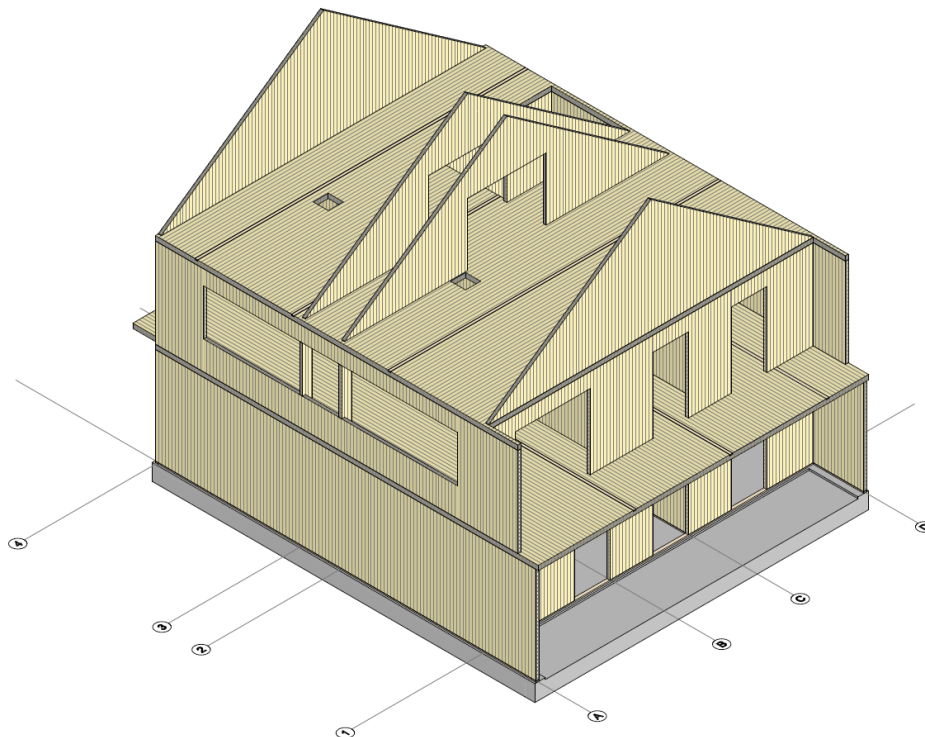


Fig. 446 - Axonometria sem os painéis de cobertura.

#### 5.5.1.15 ENVOLVENTE (PAINÉIS CLT)

Para o revestimento de acabamento das paredes exteriores propõe-se o recurso a perfis (macho-fêmea) de madeira de pinho termo-modificada, com secção de 117mmx19mm, dispostas na horizontal, pregados sobre uma estrutura de sarrafos de 25mmx40mm montados na vertical (Banema, 2015). Segundo as exigências definidas pelo fabricante, a caixa-de-ar deve ter o mínimo de 25mm, os perfis deverão ser afastados cerca de 30cm do solo, a face com a madeira mais próxima do cerne deve ser orientada para o exterior, recomendando-se uma projecção da cobertura com um mínimo de 30mm, mas aconselhando-se 600mm. A camada seguinte é constituída por uma membrana transpirante, com as funções de vedação à água e ao ar, tipo Transpir 95 (Rothoblaas, 2015) que deverá cobrir toda a envolvente pelo exterior. A tela é fixada ao isolamento térmico em XPS com 60mm de espessura, podendo este ser aplicados em duas camadas com juntas desencontradas (embora essa prática surja nos manuais, não é muito comum). O isolamento é instalado sobre os painéis lamelados colados de 90mm, sendo depois revestidos pelo interior por uma placa de gesso cartonado ou por painéis de gesso e fibras de celulose, tipo *Fermacell*.

Uma parede com estas características tem uma espessura de 207mm e um coeficiente de transmissão térmica de 0,35U W/(m<sup>2</sup>.°C). Se for necessário obter uma solução com o valor de referência de 0,30U W/(m<sup>2</sup>.°C) para a zona mais severa de Inverno em Portugal, a camada de isolamento térmico deveria ter 75mm, implicando uma parede com 222mm de espessura.

O revestimento dos pavimentos interiores deve potenciar o contributo da massa térmica da laje. Propõe-se assim, a aplicação de pavimento cerâmico de 10mm de espessura sobre uma betonilha de regularização de 50mm, sobre uma laje com 100mm que, como já foi referido, deve ser instalada sobre uma tela de isolamento contra a humidade e sobre uma camada de isolamento térmico de XPS com 5cm (2"), sobre cerca de 10cm de gravilha (Thalon, 2009, p. 25). Esta solução terá um coeficiente de transmissão térmica  $U=0,29 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ . Para obter um valor próximo do valor de referência  $U=50 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ , bastaria recorrer a uma espessura de isolamento térmico de 15mm, obtendo-se neste caso um  $U=0,48 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ .

Propõe-se para revestimento de acabamento exterior da cobertura uma chapa metálica com junta agrafada com 0,7mm de espessura tipo *Rheinzinc* (Rheinzinc, 2015), instalada sobre uma tela estruturada estanque respirante, assente sobre painéis de isolamento térmico de XPS com 75mm de espessura, assentes sobre o painel lamelado cruzado com 90mm revestido pelo interior com painéis de gesso cartonado. Esta solução teria um coeficiente de transmissão térmica de  $0,27 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$  e uma espessura de 185mm. Se se pretendesse obter o valor de referência de  $0,25 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ , a camada de isolamento térmico deveria ter 85mm, obtendo-se assim uma espessura total de 195mm.

### 5.5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE PAINÉIS CLT

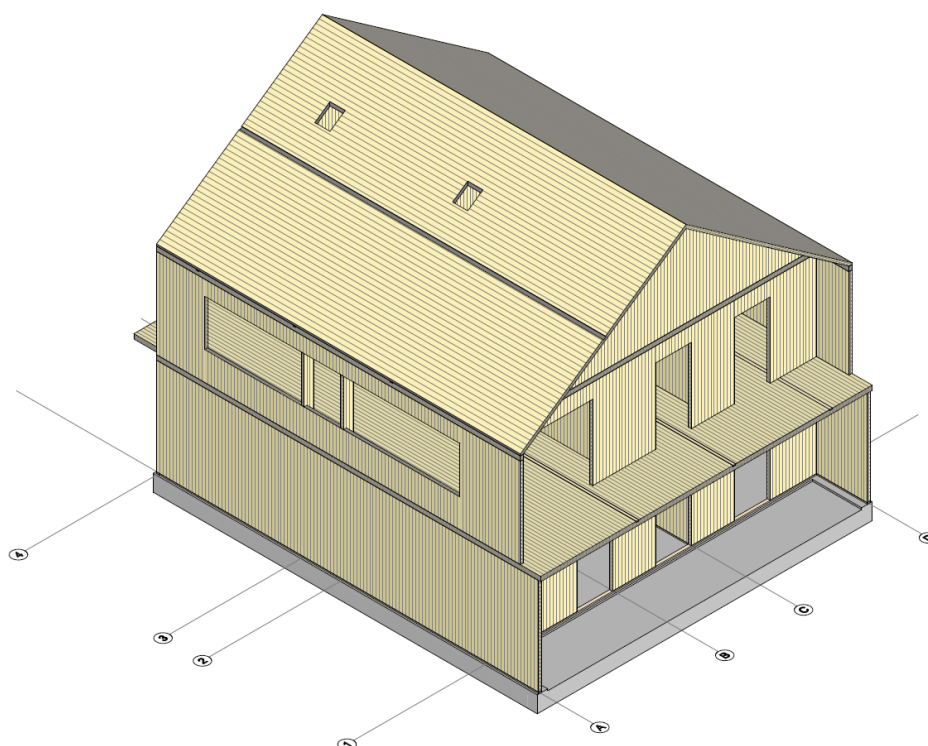


Fig. 447 - Axonometria.

Do ponto de vista do caso de estudo, pode ser efectuada uma avaliação do sistema construtivo com base nos seguintes factores:

1. Integração do tipo estrutural nas pré-definições do modelo formal.
2. Limitações dimensionais da estrutura.
3. Limitações do ponto de vista da durabilidade.
4. Simplicidade/complexidade do sistema global.

#### 5.5.2.1 ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE PAINÉIS CLT AO MODELO FORMAL

A integração do tipo estrutural não conduziu a alterações das dimensões espaciais nem a modificação ao nível das características simbólico-arquitectónicas do modelo pré-definido.

O sistema proporciona vários recursos arquitectónicos dos quais se pode tirar partido, nomeadamente a utilização de paredes e tectos interiores à vista e também elementos exteriores, desde que protegidos.

As possibilidades de variação formal são amplas uma vez que, tal como o sistema de reticulados, é um sistema que exige sempre um revestimento pelo exterior.

O sistema é muito flexível do ponto de vista volumétrico-espacial devido ao seu bom comportamento estrutural. O sistema admite alguma amplitude de vãos envidraçados e espaciais mas é muito mais limitado que os sistemas porticados.

A flexibilidade do sistema em relação aos detalhes é maior do que nos restantes sistemas uma vez que não há a mesma necessidade de prever juntas para acomodar assentamentos da madeira. De resto, a maior ou menor flexibilidade em obter detalhes mais depurados depende dos revestimentos adoptados.

#### 5.5.2.2 LIMITAÇÕES DIMENSIONAIS DA ESTRUTURA (PAINÉIS CLT)

O sistema tem um bom comportamento estrutural, não sendo condicionado, como são os restantes sistemas, pela orientação das fibras dos componentes, permitindo por esse motivo cobrir com eficácia todas as situações ao nível dos espaços domésticos.

#### 5.5.2.3 SITUAÇÕES DELICADAS DO PONTO DE VISTA DA DURABILIDADE (PAINÉIS CLT)

As situações mais delicadas do ponto de vista da durabilidade são também as consolas das varandas, da pala e do beirado da cobertura. Nestes casos, a durabilidade da estrutura depende do sistema de estanquidade aplicado. Poderá ser uma opção razoável deixar a face inferior das varandas e pás à vista de modo a permitir a inspecção imediata do estado de conservação da estrutura.

#### 5.5.2.4 SIMPLICIDADE/COMPLEXIDADE DO SISTEMA (PAINÉIS CLT)

O sistema é o mais simples de todos uma vez que um único tipo de componente, com um comportamento semelhante ao de uma laje, é aplicável a todos os elementos da construção. Com base nas instruções de cada fabricante o Arquitecto fica na posse das regras básicas de concepção. Do ponto de vista do comportamento estrutural, comparativamente aos sistemas estudados anteriormente, será aquele que parece o mais robusto. Quanto ao comportamento térmico, deve ser também o sistema que menos situações de risco apresenta por ser um sistema completamente revestido, com muito poucas juntas e com uma massa térmica que dentro dos sistemas de madeira pode ser considerada elevada.



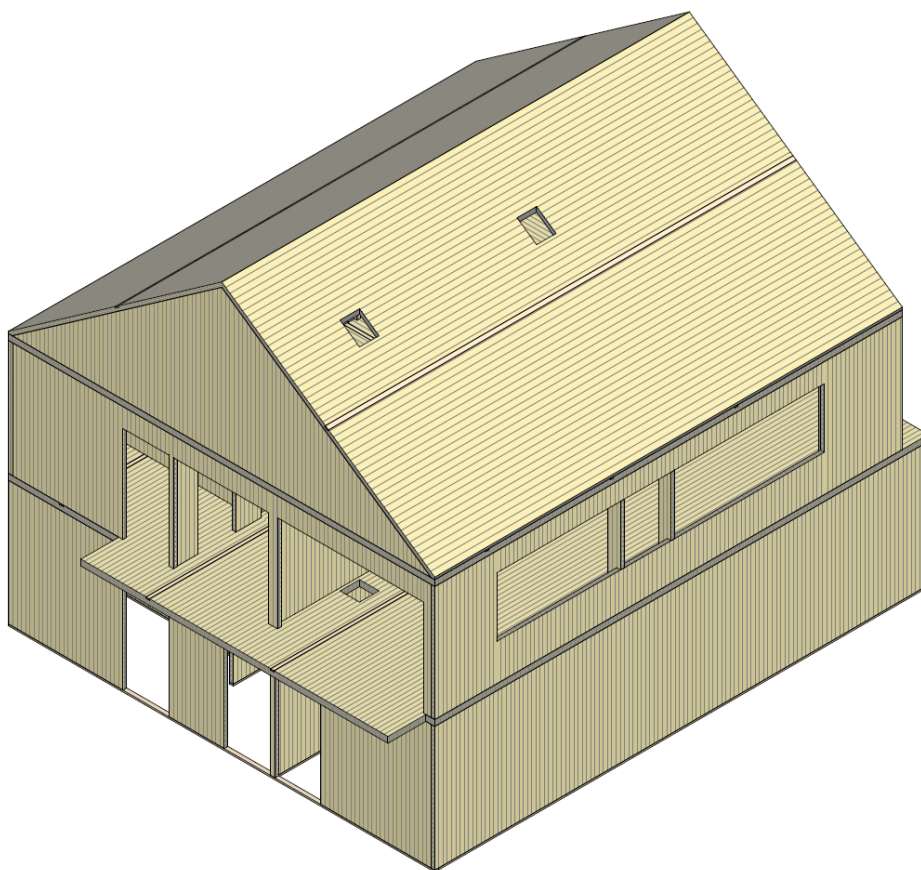


Fig. 448 - Axonometria noroeste da solução estrutural de painéis pesados de lamelados cruzados colados.

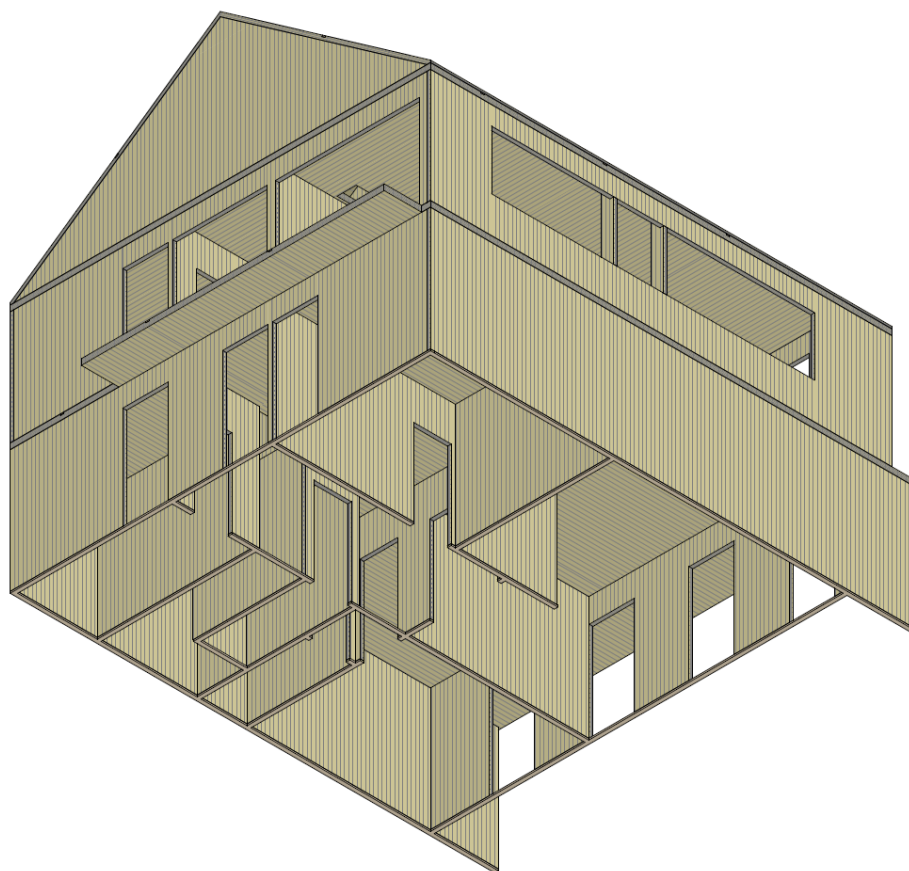


Fig. 449 - Axonometria noroeste inferior da solução estrutural de painéis pesados de lamelados cruzados colados.



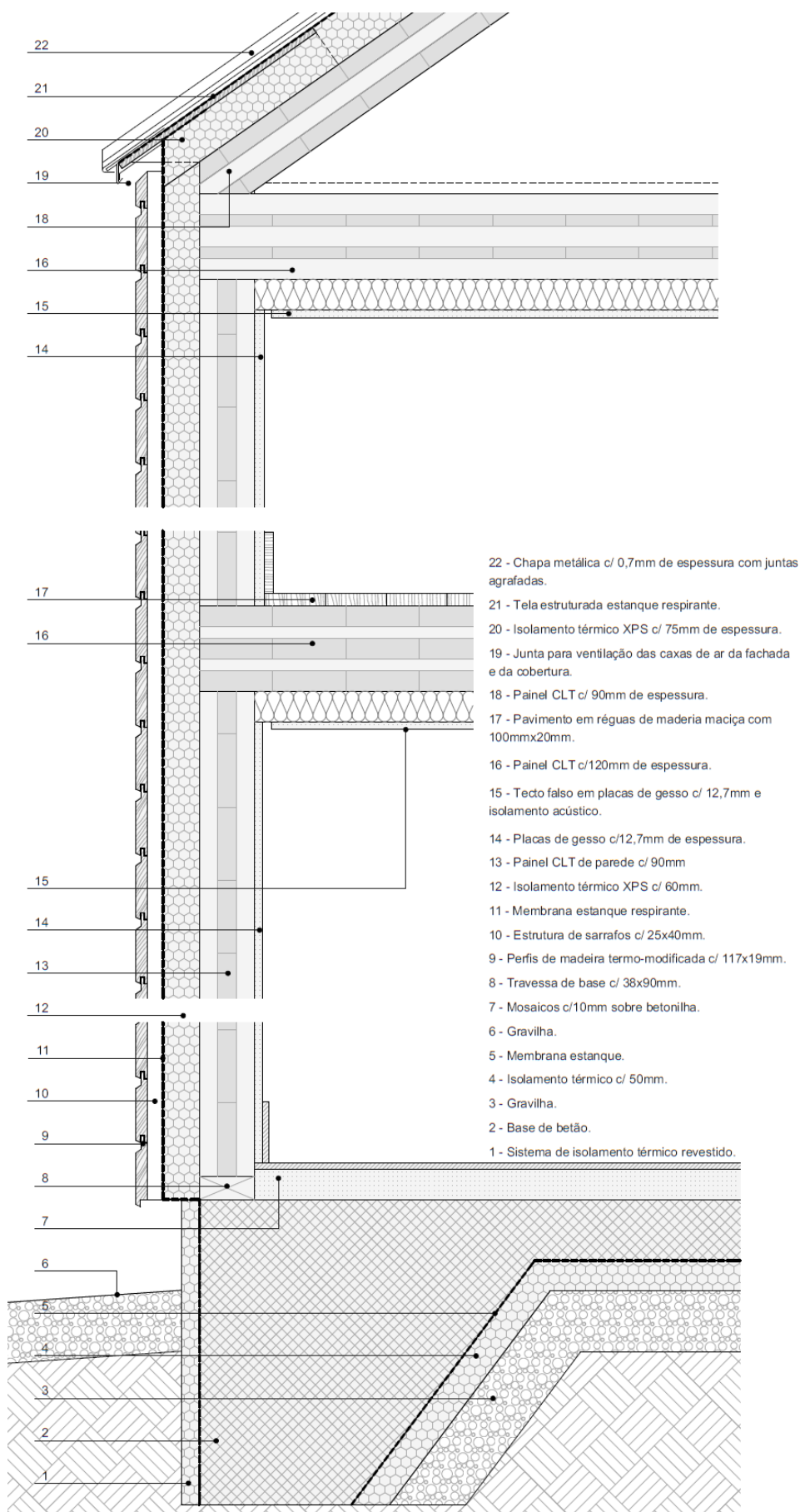


Fig. 450 - Corte construtivo pela fachada da solução com painéis pesados lamelados colados.

## 6 MÉTODO PROPOSTO

Os métodos de projecto de arquitectura são formalizados por ferramentas de apoio à decisão que podem assumir várias formas: manuais, recomendações, e listas de requisitos, podendo também incluir-se neste conjunto alguns sistemas de avaliação e de certificação que pressupõem a adopção de objectivos de projecto e sugerem métodos para os atingir. Todas essas formas têm como objectivo garantir a qualidade e otimizar o processo através de ajudas quanto à informação a considerar, às decisões a tomar e às fases do projecto a percorrer. A metodologia que se propõe nesta tese é explicitada através de organogramas de acções, listagens de procedimentos e tabelas de auxílio à escolha de soluções. Nestes instrumentos são integrados vários tipos de dados: informação de base, condicionantes do contexto, procedimentos sequenciais, recomendações de projecto e auxiliares de avaliação. Esta metodologia poderá ser um complemento aos instrumentos já existentes nas áreas: da análise e avaliação da qualidade arquitectónica residencial, do desenho de Arquitectura sustentável e dos instrumentos de certificação.

Assim, no primeiro capítulo (6.1 Processo de projecto) justifica-se e descreve-se genericamente o processo de projecto proposto com base em fluxogramas que mostram a sequência dos procedimentos em cada fase principal. Os procedimentos principais do método incluem: a definição de tipologias ao nível da fase de programa base, a definição de soluções de projecto e a respectiva avaliação ao nível do estudo prévio. As fases de projecto base e de projecto de execução são aqui focadas apenas marginalmente, privilegiando-se o estudo prévio por corresponder à fase decisiva, onde as principais escolhas são realizadas.

O segundo capítulo (6.2 Definição do programa) sugere os procedimentos específicos a adoptar, propondo uma listagem das tarefas principais complementada por tabelas de apoio à escolha dos tipos funcionais, espaciais, simbólicos e estruturais. São também apresentadas uma lista de apoio à escolha dos tipos simbólicos e listas das principais opções estruturais para cada sistema construtivo.

No terceiro capítulo (6.3. Definição do estudo prévio) é apresentada uma lista de procedimentos de projecto onde são identificadas sequencialmente as operações a desenvolver de um modo genérico, desde a solução formal até à avaliação das propostas das empresas. As avaliações surgem aqui no formato de matrizes de decisão com a proposta da utilização do método MACBETH e do respectivo software. São também apresentadas listagens com sugestões de opções de projecto e medidas construtivas que no conjunto definem estratégias transversais: de durabilidade, integridade construtiva e economia.

No último capítulo (6.4. Aplicação do método ao caso de estudo), efectua-se uma reflexão sobre a aplicação do método, incidindo especialmente nos procedimentos que não tinham sido ainda exemplificados, nomeadamente as avaliações com base no programa M-MACBETH. Essas avaliações, ainda que muito simplificadas e meramente exemplificativas, permitiram obter conclusões acerca da importância dos diversos contextos de decisão em que ocorrem as escolhas dos sistemas estruturais. Assim, foram definidos vários cenários (Arquitectura, durabilidade, preço e ambiente) e analisaram-se os resultados em cada um deles. Por fim efectuou-se uma autocritica ao caso de estudo, questionando o que teria sido diferente no desenvolvimento do projecto (realizado nos casos de estudo) se este tivesse sido conduzido desde o início com base no método proposto.

## 6.1 PROCESSO DE PROJECTO

### 6.1.1 ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO

O processo de projecto de uma habitação unifamiliar tem origem numa necessidade expressa por parte de um cliente (família ou empreendedor) que em consequência procurará no mercado os fornecedores de serviços (empresas e profissionais) vocacionados para fornecer as respostas adequadas ao seu problema específico. Para a construção de uma casa em madeira, como para qualquer projecto, o cliente genérico espera racionalmente obter do prestador de serviços as garantias de qualidade, tanto para a concretização do projecto como para a construção da respectiva obra.

#### 6.1.1.1 A COORDENAÇÃO DO PROJECTO

Nos cenários em que os Arquitectos não tenham um curriculum significativo num sector singular como o da construção em madeira, será lógico que os clientes procurem empresas com experiência comprovada no projecto e na construção de casas de madeira. Essas empresas têm à partida um historial e garantias de segurança e de eficácia para oferecer aos clientes, tanto do ponto de vista dos processos como das soluções. A segurança é dada pela experiência continuada na construção em madeira, por um lado, e pela especialização nos programas habitacionais, por outro. A eficácia na área do projecto é assegurada pela ligação próxima entre o âmbito da concepção e o âmbito da produção. Acrescente-se que frequentemente a escolha e a formulação do problema é muito facilitada pela oferta de um catálogo ou pelo menos pela existência de um portfólio de soluções. Estas soluções podem funcionar como “modelos” ou como “tipos”, ou seja em alguns casos poderão ser reproduzidas integralmente para uso de vários clientes, mas noutros casos servem apenas como um ponto de partida referencial para desenvolver novas soluções. Nestas situações a empresa lida, em maior ou menor grau, com soluções acerca das quais em princípio conhece *a priori* o seu comportamento, os seus custos e o seu preço.

No entanto alguns dos clientes motivados pelo desejo de obter um produto mais exclusivo procurarão directamente o Arquitecto, ou seja um tipo de profissional preparado para desenvolver projectos de Arquitectura singulares, que para além da qualidade técnica se podem destacar pela qualidade do ponto de vista simbólico e artístico. Mesmo em contextos, como o da América do Norte, onde vingam processos de projecto sem a intervenção directa de Arquitectos (cf. Figura 451), a importância destes é reconhecida:

*“If you are buying a log home package based on a company plan or a close modification, your architectural requirements have probably been met; (...). If you are starting from scratch, seeking an individual style, and planning to make a considerable investment in your log home, then you may want to consider an architect.”*  
(Cooper, 1993)

Comparando com a oferta das empresas especializadas, a opção por um Arquitecto visa um acréscimo de “qualidade arquitectónica”, esperando-se soluções mais inovadoras e mais cuidadas esteticamente, embora com o possível risco de perdas em economia, em eficácia, e por vezes, paradoxalmente, cedências ao nível do que o cliente entende ser a personalização. Este último ponto é importante porque a personalização esperada por parte dos clientes é por vezes anulada pela necessidade que o Arquitecto tem em fornecer uma solução na qual o “seu conceito arquitectónico” mantenha uma coerência artística nem sempre compatível com outros requisitos do cliente, nomeadamente os funcionais.

O paradigma do Arquitecto enquanto profissional polariza-se entre os modelos do “prestador de serviços” e o do “artista”, sendo este último o mais valorizado pelo ensino em Portugal,



Fig. 451 - Anúncio da empresa Knoll Design, especializada em projectos residenciais (<http://www.kentknoll.com/design.htm>).

como já antes foi referido. Muitos Arquitectos acabam por adoptar o segundo paradigma como referência para a sua prática profissional, recorrendo ao mesmo tipo de discurso de Peter Zumthor:

*"Normally architects render a service, (...) They implement what other people want. This is not what I do." [Peter Zumthor] (Kimmelman, 2014).*

No panorama nacional, a maioria dos Arquitectos apesar de formados à luz das premissas do primeiro paradigma acaba por ter que lidar com uma lógica de prestação de um serviço que procura conciliar a satisfação das necessidades dos clientes com a "qualidade geral do projecto" (tal como a concebe o Arquitecto). Em muitos casos corre-se o risco de prevalecer a visão imediata do cliente, a qual normalmente não conduz às soluções mais favoráveis do ponto de vista da integração de todas as exigências. Esta situação pode ser agravada pela ausência de um planeamento de obra (por não haver um verdadeiro projecto de execução que identifica e resolve antecipadamente os problemas) e pelos consequentes improvisos e alterações que acontecem no decorrer da construção. Neste cenário as obras são baseadas em soluções de compromisso (entre a visão integrada do Arquitecto e a perspectiva fragmentada do cliente) e em visões sectoriais dos problemas (e não integradoras e globais).

Assim, para os clientes das casas de madeira haveriam três opções: a oferta das empresas especializadas que produzem "produtos" pré-definidos, acabados e testados; a oferta dos arquitectos de referência que projectam obras arquitectónicas com ênfase artística; e a oferta de arquitectos que se disponibilizam para prestar um serviço cujo processo admite o compromisso entre os "gostos" do cliente e do arquitecto.

Apesar dos múltiplos processos de projecto que é possível encontrar na realidade<sup>291</sup>, pode-se admitir que os três modelos sugeridos descrevem, ainda que de forma extremada, as situações mais comuns. Cada um dos modelos ("soluções pré definidas", "obras artísticas" e "solução de compromisso") pressupõe um tipo de coordenador diferente, em termos de

<sup>291</sup> A realidade é naturalmente muito mais complexa do que esta classificação simplificada, existindo possibilidades óbvias de variantes dentro de cada uma dessas situações. Em A), o processo será diferente nas empresas que oferecem um só sistema construtivo e aquelas que podem oferecer um maior leque de escolhas. Em B), cada Arquitecto apresentará não só a sua marca específica, mas também a sua metodologia particular. Em C) o processo poderá ser substancialmente diferente em função das características do próprio cliente, da sua cultura, dos seus conhecimentos e educação. Alguns clientes apresentam-se no processo com um conjunto de pré-conceitos que limitam muito a margem de intervenção do Arquitecto, enquanto outros iniciam o processo sem verdadeiramente terem equacionado o seu próprio problema. Certos clientes tenderão a valorizar o papel do Arquitecto encarando-o como um conselheiro, enquanto outros tenderão a desvalorizar a sua intervenção, considerando-a mais como um instrumento necessário para o diálogo com as entidades licenciadoras.

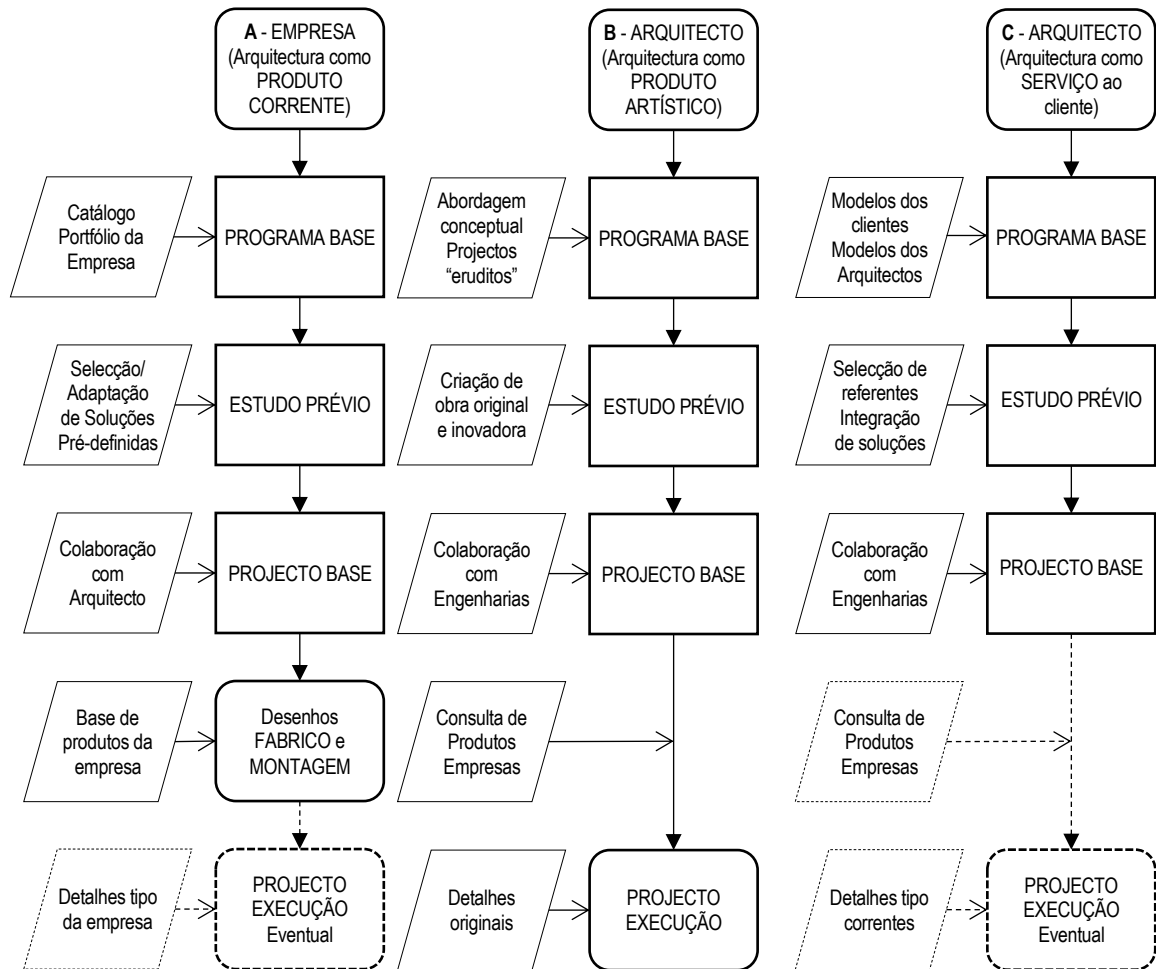
posicionamento perante o cliente, quanto à natureza da oferta disponibilizada (cf. Fluxograma 7). No modelo “A” a empresa fabricante de produtos oferece a segurança de um resultado previsível. No modelo “B” o Arquitecto é um criador de produtos de *design* de prestígio associados a uma determinada “imagem de marca”. No modelo “C” o Arquitecto oferece um serviço personalizado tendo em conta o “gosto do cliente”. A diferença entre cada um deles, do ponto de vista do método pode ser exposta através da forma como se desenvolvem as respectivas soluções ao longo das fases de projecto: programa base, estudo prévio, projecto base e projecto de execução.

Ao nível do programa base, a definição do problema de projecto é equacionado descritivamente tendo em conta o auxílio de um conjunto de conhecimentos prévios a qualquer formulação. Esse conhecimento funciona como uma base de dados onde se podem encontrar respostas concretizadas no passado para problemas similares. No processo das soluções pré-definidas “A”, existe um catálogo supostamente definido com base nas preferências do mercado e limitado pela gama de produtos da empresa. A partir do catálogo é possível escolher soluções acerca das quais se conhecem previamente as suas características nomeadamente o preço. No processo da criação de “obras artísticas” “B”, podendo haver referentes ou obras inspiradoras provenientes do meio especializado da Arquitectura erudita, esperam-se em princípio abordagens mais conceptuais, experimentais e inovadoras que reflectem as preferências do arquitecto. No processo da elaboração de soluções de compromisso “C”, em geral há uma tentativa de conciliar os modelos preferidos dos clientes, normalmente mais tradicionalistas, com os modelos escolhidos pelos Arquitectos, normalmente inspirados em obras de Arquitectos de referência.

A fase de estudo prévio, nos processos que têm como ponto de partida os catálogos (modelo “A”), no limite, exige apenas um processo de selecção de alternativas. Os processos de criação artística (modelo “B”) são muito elaborados, exigindo mais tempo e investimento uma vez que o objectivo fundamental é a originalidade da solução. Nos processos em que se exigem compromissos (modelo “C”), a integração de diferentes referentes numa solução é um desafio que exige um esforço que nem sempre é proporcional à satisfação dos intervenientes perante os resultados alcançados. As soluções resultantes em cada situação reflectem as diferentes abordagens ao conceito de autoria: soluções de autoria genérica no primeiro caso, soluções “de autor” no segundo e “autorias partilhadas” entre cliente e arquitecto, na terceira situação. Na fase de projecto base realiza-se em todos os modelos tanto a produção de desenhos, obedecendo a conteúdos normalizados para submeter às entidades licenciadoras, como a integração das diversas especialidades num todo coerente.

O projecto de execução desenvolvido pelo Arquitecto, consiste na elaboração de peças desenhadas e escritas para comunicação à obra. No contexto das empresas de construção e fabrico de casas de madeira (modelo “A”), esse projecto por vezes não faz sentido, uma vez que os desenhos de fabrico e as soluções tipo (incluindo detalhes normalizados e recorrentes na própria empresa) substituem a actividade intensiva que ocorre por exemplo no âmbito da actividade dos Arquitectos criativos. Neste caso (modelo “B”) a produção de um projecto de execução é muitas vezes encarada como um processo de descoberta, quase artesanal, com pormenores singulares e por vezes inovadores. Na última situação (modelo “C”), o projecto de execução não é valorizado pelo cliente, porque é visto como um processo moroso e com custos elevados, remetendo-se para a fase da obra grande parte das decisões. Aqui, os detalhes são mais genéricos e acabam por ser referenciados à prática comum. Normalmente os construtores, na ausência de um projecto de execução, funcionam como auxiliares da concepção durante este tipo de processos.

Fluxograma 7 - Modalidades de processos de projecto (A, B, C).



**CARACTERÍSTICAS:**

- QUALIDADE CONSTRUTIVA
- EFICÁCIA DO PROCESSO
- CUSTOS DA OBRA

**RISCOS:**

- MENOS QUALIDADE FORMAL
- MENOS SINGULARIDADE
- DEPENDÊNCIA DAS EMPRESAS

**CARACTERÍSTICAS:**

- QUALIDADE FORMAL
- SINGULARIDADE
- INDEPENDÊNCIA DAS EMPRESAS

**RISCOS:**

- MENOS PERSONALIZAÇÃO
- CUSTO DE PROJECTO
- CUSTO DA OBRA

**CARACTERÍSTICAS:**

- SATISFAÇÃO IMEDIATA
- CUSTOS DE PROJECTO
- INDEPENDÊNCIA DAS EMPRESAS

**RISCOS:**

- MENOS QUALIDADE FORMAL
- MENOS QUALIDADE CONSTRUTIVA
- CUSTO DA OBRA

O processo de projecto que se propõe (modelo “D”) tentará conciliar os aspectos positivos de cada um dos modelos anteriormente descritos (cf. Fluxograma 8). Este tem como objectivos a defesa da perspectiva do cliente e o ajustamento à lógica da construção em madeira. A perspectiva do cliente assenta no desejo de vir a obter um projecto personalizado com custos controlados na base de um orçamento limitado. Quanto à lógica da construção em madeira, esta pressupõe que as decisões são baseadas no conhecimento das condicionantes e das possibilidades construtivas e dos requisitos correspondentes à variedade de tipos arquitectónicos já caracterizados nos capítulos anteriores.

Pretende-se obter com este método uma perspectiva independente relativamente às empresas, embora contando com a sua colaboração para garantir a qualidade da construção. Assume-se assim a qualidade arquitectónica como um objectivo global, evitando-se a procura da singularidade arquitectónica a todo o custo. Ou seja, o objectivo do processo proposto é a satisfação do cliente sem anular o papel do Arquitecto. Por esse motivo designou-se este modelo “D” como “Serviço qualificado” (cf. Fluxograma 8).

Ao nível do programa base, propõe-se uma consulta ao mercado das empresas de construção em madeira e uma recolha de soluções arquitectónicas que sejam o reflexo das possibilidades da construção em madeira. A elaboração de um catálogo tipológico que reúna tanto os tipos simbólicos como os tipos estruturais, permitirá produzir uma base de dados das possibilidades da construção em madeira que possam auxiliar o cliente nas suas escolhas. Essa escolha deve ser efectuada integrando um processo que inclua critérios explícitos que assegurem a sua objectividade e a satisfação do cliente.

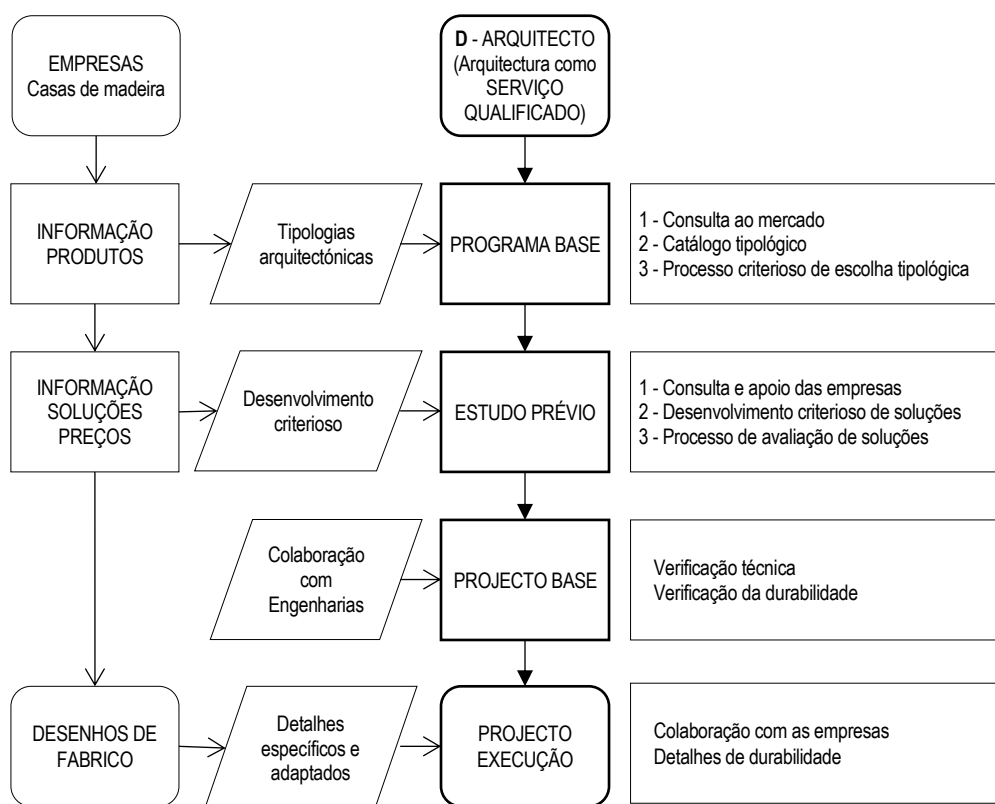
O estudo prévio será o processo chave ao longo do qual se concebe a solução final. A consulta às empresas e o seu apoio deve ser efectuada aqui de um modo mais direccionado tendo em vista obter informações sobre soluções técnicas específicas e respectivos preços. A concepção da solução e o desenvolvimento de alternativas devem ser efectuados com a integração de critérios que se adequem ao contexto do projecto (economia, durabilidade, integridade construtiva). Para além da concepção criteriosa, o método pressupõe que seja seguido um conjunto de procedimentos que visam garantir a qualidade da construção tendo em conta as especificidades da construção em madeira. Finalmente o processo de avaliação de soluções alternativas pressupõe a adopção de um método auxiliar de avaliação, simples mas objectivo, com base nos critérios múltiplos definidos (cf. capítulo 6.3.5 - Avaliações).

O projecto base terá aqui um âmbito quase exclusivamente formal, tendo como objectivo principal o licenciamento da solução. Contudo, apesar de poder ser uma fase que exija apenas um aumento de escala dos desenhos da fase anterior, deverá ser uma oportunidade para verificar o comportamento técnico da proposta, nomeadamente as características de durabilidade da solução arquitectónica.

Propõe-se que o projecto de execução seja efectuado em colaboração com as empresas de fabrico e com base na informação produzida por elas, nomeadamente as relacionadas com os requisitos próprios de cada sistema e com as boas práticas da construção. O projecto de execução conta ainda com os desenhos e documentos para a comunicação à obra das definições construtivas e formais pretendidas para a construção final. Esta fase, do ponto de vista da arquitectura será relativamente aligeirada comparativamente aos processos tradicionais de “projecto de execução” uma vez que uma componente significativa do trabalho é partilhada com a empresa de fabrico e construção.



Fluxograma 8 - Modalidade de processo de projecto proposta (D).



CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO:	SEMELHANTE A:	MELHOR QUE:
- SATISFAÇÃO DO CLIENTE	- PROCESSO C e A	- PROCESSO B
- QUALIDADE FORMAL	- PROCESSO B	- PROCESSO A e C
- QUALIDADE CONSTRUTIVA	- PROCESSO A	- PROCESSOS B e C
- PERSONALIZAÇÃO	- PROCESSO C	- PROCESSO A e B
- INDEPENDÊNCIA DAS EMPRESAS	- PROCESSOS B e C	- PROCESSO A

#### 6.1.1.2 MAIS-VALIAS DO MÉTODO

Com o método proposto (processo “D” do Fluxograma 8) pretende-se corrigir alguns dos problemas detectados nos processos tradicionais de projecto (processos “A”, “B” e “C” do Fluxograma 7), por um lado, e integrar as especificidades da construção em madeira por outro. Em síntese pretende-se ajudar a concretizar projectos que promovam a satisfação do cliente, a qualidade formal e construtiva do projecto, a personalização da solução e a independência relativamente às empresas.

O resultado final deve ir ao encontro da satisfação do cliente tal como ocorre com as soluções de “produto corrente” das empresas (“A”) e com os as soluções “de serviço ao cliente” dos Arquitectos (“C”). Propõe-se o envolvimento do cliente na escolha das soluções mediante a formalização de um catálogo que forneça uma diversidade estruturada de tipos de soluções potenciais. Este processo distingue-se assim do processo de “produtos artísticas” dos

arquitectos de referência (“B”) em que o envolvimento do cliente é mínimo, e melhora os processos de escolha tradicionais que, ou são efectuados com base em catálogos limitados (processo “A”) em termos de diversidade ou são desadequados promovendo soluções descontextualizadas. Este distingue-se também do processo de escolha do processo “C” cujo método de escolha ocorre muitas vezes pelo processo de “tentativa e erro”.

Para além da satisfação do cliente, o método deve promover a qualidade formal da solução que, como ocorre no processo “B”, é normalmente uma das preocupações fundamentais dos arquitectos. Esta qualidade formal será assegurada por um lado pela intervenção do arquitecto, a qual no processo “A” é muitas vezes limitada, e que no processo “C” resulta usualmente numa solução híbrida. A qualidade formal resulta também da adopção da abordagem tipológica que permite que o cliente efectue uma escolha de um “tipo” mas não de uma “solução”. Assim, depois de escolhido um tipo, o Arquitecto poderá desenvolver a solução dentro de regras estabelecidas à priori, mantendo a integridade formal da solução.

O foco do processo “D”, ao contrários dos processos “A”, “B” e “C”, deve ir ao encontro da qualidade construtiva específica da construção em madeira. Esta qualidade construtiva poderá ficar comprometida nos processos “B” e “C” uma vez que no contexto nacional os arquitectos não têm ainda uma experiência significativa e conhecimentos sólidos para construir bem com estruturas de madeira. Propõe-se então salvaguardar a qualidade da construção envolvendo as empresas do sector das casas de madeira no processo, nomeadamente através da recolha de soluções e sugestões que contribuam para evitar erros de construção. Mas a qualidade construtiva será assegurada principalmente através da adopção específica do método, nomeadamente mediante a inclusão de estratégias de projecto, que assegurem a durabilidade e a integridade construtivas associadas aos sistemas construtivos em madeira.

A personalização, que se relaciona com a satisfação do cliente, significa que são integradas na solução as características que respondam directamente às necessidades do cliente e do contexto, tal como é realizado em parte no processo “C”. No processo “A”, a personalização tende a ser descurada porque as soluções são genéricas tendo por base as características médias procuradas pelo mercado. No método proposto “D” não se advoga uma escolha directa de soluções a partir do catálogo, propondo-se antes a escolha de tipos abstractos que direccionam para a concepção de projectos condicionados pelas regras do tipo escolhido. Embora no processo “B” as soluções tenham tendência a ser específicas, essa característica tem muitas vezes por base uma desvalorização dos factores funcionais e de personalização, substituídos pelo domínio quase absoluto das exigências formais da solução.

Finalmente pretende-se que este método, apesar de contar com a colaboração importante das empresas, seja independente delas. Ao contrário do processo “A” em que o cliente, uma vez escolhida uma empresa, fica limitado ao leque de opções disponibilizadas, no processo “D” o Arquitecto representará os interesses do cliente ampliando o universo das escolhas possíveis. O seu papel consistirá em recolher e seleccionar as informações sobre empresas e produtos que permitam concretizar a solução mais adequada ao problema colocado pelo cliente. Ainda que nos processos “B” e “C” também exista esta independência, não são adoptados processos de projecto estruturados, privilegiando-se os processos intuitivos. Através do processo “D” segue-se uma metodologia: os procedimentos mais importantes são identificados, a informação é organizada com base em grelhas tipológicas e os processos de escolha e avaliação são objectivados através do recurso a matrizes de decisão com inclusão de critérios ponderados.

### 6.1.2 PROGRAMA PRELIMINAR

O programa preliminar, não constitui uma singularidade do método proposto. Será uma fase em que se reúne um conjunto de informações variadas, sendo algumas fornecidas pelo cliente e outras recolhidas e registadas pelo Arquitecto. No Fluxograma 9 referem-se as informações mais importantes a registar, divididas por três grupos em função da sua proveniência: o contexto, o cliente e os regulamentos. Os dados do contexto devem ser fornecidos pelo cliente e registados pelo Arquitecto, podendo este último auxiliar o processo mediante a elaboração de um formulário com uma lista de dados a obter. O cliente fornecerá ao Arquitecto as informações actualizadas referentes ao lote onde pretende contruir, incluindo um levantamento do terreno actualizado, com todas as condicionantes relevantes para permitir o diálogo com as autoridades com competência licenciadora.

O Arquitecto deverá efectuar um reconhecimento exaustivo das condições do sítio (contexto cultural e físico) e um levantamento prévio dos fabricantes e construtores a considerar. Sobre os dados específicos do cliente o Arquitecto deverá elaborar um inquérito onde, com clareza, o cliente possa expressar as suas condicionantes (uso, valores, economia, ambiente, processo) de forma o mais completa possível. Nesta fase o Arquitecto deverá também reunir as informações referentes aos regulamentos gerais e específicos aplicáveis.

Fluxograma 9 - Programa preliminar - Informações e dados a considerar.



### 6.1.3 PROGRAMA BASE

Uma vez reunidas as informações necessárias à definição do programa preliminar inicia-se o programa base (cf. Fluxograma 10) onde essencialmente se estrutura o problema do projecto e se definem as tipologias que irão na fase posterior reger o desenvolvimento das soluções. Esta definição consiste em estabelecer de forma descritiva as características tipológicas consideradas mais adequadas a cada factor de projecto (cf. Tabela 59).

Assim, define-se primeiro o tipo funcional com base em necessidades objectivas do cliente (número de quartos, número de pisos, áreas, geometria e posição dos compartimentos, etc.), para além de todas as outras condicionantes identificadas ao nível do programa preliminar. De seguida, define-se o tipo espacial com base nas intenções em termos de características espaciais, geométricas, volumétricas e de relação com o terreno. Finalmente, define-se o tipo simbólico com base no desenvolvimento de um catálogo estruturado de tipos, ilustrado com exemplos relevantes de construção em madeira, recolhidos pelo arquitecto. Este catálogo deve ser elaborado integrando as possibilidades e as condicionantes do contexto de modo a garantir a boa interpretação do arquitecto relativamente às aspirações simbólicas do cliente

Tal como já foi referido, na maior parte das situações de projecto e em especial nos casos em que na perspectiva do cliente (ou do projectista) há ainda incertezas relativamente à escolha, pode haver necessidade de seleccionar um ou mais tipos simbólicos alternativos. Uma vez seleccionado o tipo simbólico, ou os tipos simbólicos, está concluído o processo de definição do sistema formal.

A partir de um sistema formal, que não é mais do que a descrição da solução arquitectónica em termos de funções, espaço e características formais, segue-se para a escolha do tipo estrutural. Esta escolha é um processo chave do processo exigindo não só a adequação do sistema formal ao tipo estrutural, mas também a adequação a outras características do contexto e aos critérios definidos como prioritários pelo cliente, como por exemplo o preço ou os prazos, ou o nível de durabilidade pretendido para solução. No entanto a adequação do sistema formal (que se pode reduzir ao tipo simbólico) ao tipo estrutural, passa a ser um factor essencial uma vez que a qualidade formal da solução é um dos objectivos do método proposto. O método deverá então integrar processos de apoio a esta escolha, nomeadamente através de uma avaliação criteriosa das soluções, que englobe todos os critérios que tenham sido estabelecidos pelo cliente como importantes.

Depois de se concluir a definição do tipo estrutural, seguem-se as escolhas do tipo de envolvente e do tipo de compartimentação que no seu conjunto permitem configurar um sistema construtivo. A envolvente e a compartimentação são muito condicionadas pelo tipo estrutural, embora o tipo de envolvente esteja particularmente dependente das exigências de comportamento térmico, podendo obrigar a adaptações e modificações do tipo estrutural.

Uma vez finalizado o processo de definição do sistema construtivo, este em conjunto com o sistema formal, permitem definir a tipologia arquitectónica mais adequada. Contudo, será recomendável obter pelo menos uma segunda tipologia arquitectónica com o objectivo de desenvolver soluções alternativas ao nível de estudo prévio, de modo a que seja possível avaliar e escolher com mais precisão a melhor solução. O processo de definição de uma ou de mais alternativas deverá começar normalmente quando se efectua a escolha do tipo simbólico, desenvolvendo-se a partir daí um processo de definição paralelo e semelhante ao anteriormente descrito com o objectivo de obter uma tipologia arquitectónica alternativa.

No final do processo e uma vez que deverá estar já seleccionado o tipo estrutural, ou os tipos estruturais a desenvolver na fase seguinte (estudo prévio), procede-se à recolha das informações técnicas que permitem considerar as diversas opções em termos de produtos e soluções estruturais para cada elemento da construção (pavimentos, paredes e cobertura).

O processo de definição tipológico, consiste na descrição da solução com base na definição das características mais relevantes da solução (cf. Tabela 59). Estas características descrevem os componentes e elementos da construção e incidem sobre aspectos de quantidade, dimensão, peso, geometria, forma, posição e materiais. Não sendo uma descrição necessariamente gráfica, poderá e deverá ser acompanhada por esquemas que auxiliem a explicação. Assim, será possível chegar ao final da fase de programa base com a definição dos tipos arquitectónicos expressos através de descrições tipológicas que abranjam as suas diversas características e tipos parciais (cf. Tabela 58, na qual se destacam as características e os tipos parciais mais relevantes).

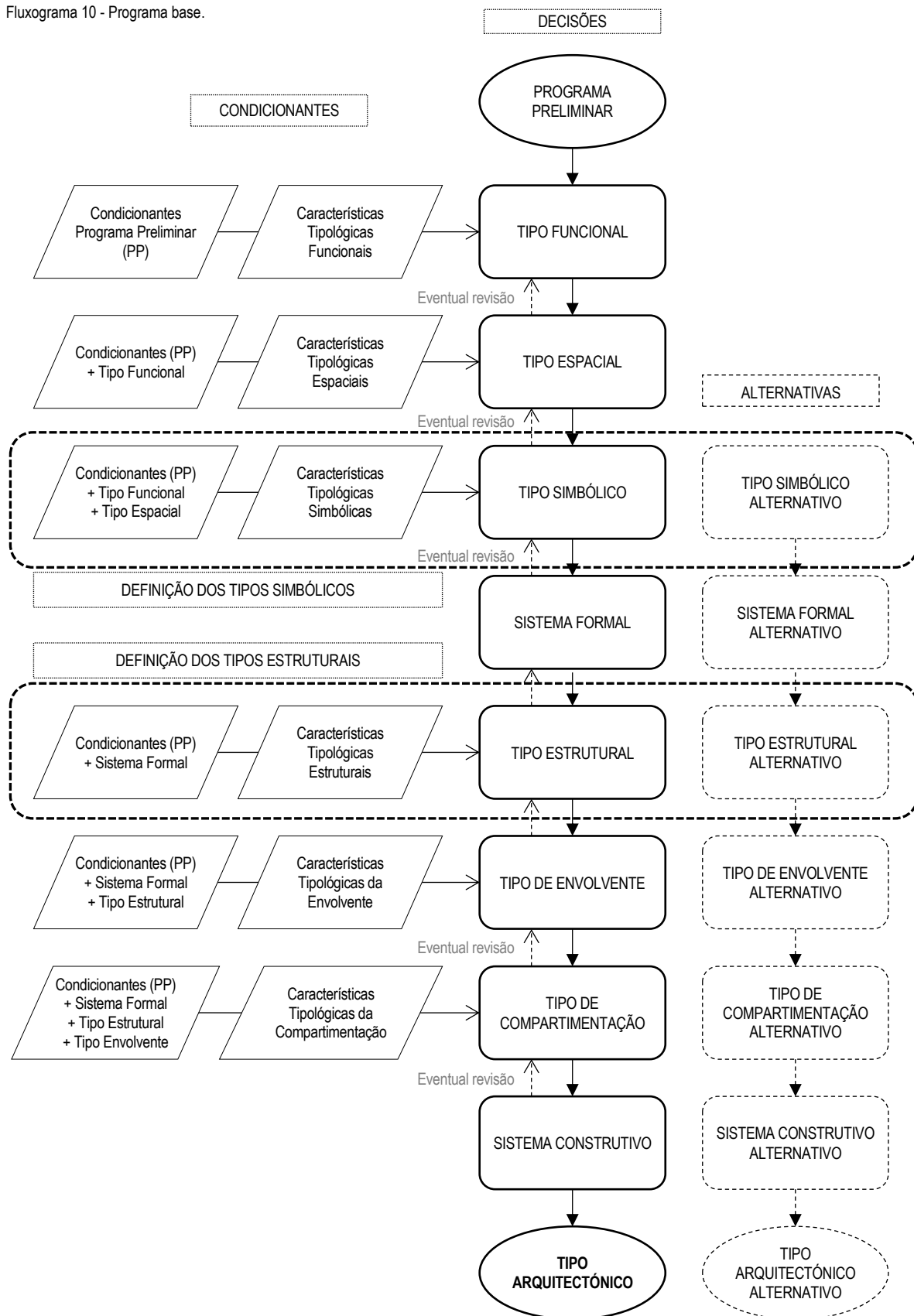
Tabela 58 - Tipologias Arquitectónicas e listagem dos tipos parciais mais importantes.

TIPOLOGIAS ARQUITETÓNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
SISTEMAS FORMAIS					SISTEMAS CONSTRUTIVOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
TIPOS FUNCIONAIS		TIPOS ESPACIAIS	TIPOS SIMBÓLICOS		TIPOS ESTRUTURAIS	TIPOS ENVOLVENTE	TIPOS DE COMPARTIMENTAÇÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Pequeno	térreo	Simples Intermédio Complexo	Tradicional		Reticulados leves	Isolamento térmico exterior	Pesada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
					Porticados			Leve																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Reticulados pesados	Mista																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Paredes leves																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Médio			térreo	com Cave	de Andar	de Andar c/ Cave	Contemporâneo		introvertido rustico	introvertido urbano	extrovertido rustico	extrovertido urbano	Paredes pesadas	Painéis leves	Isolamento térmico intermédio																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
								Grande								térreo	com Cave	de Andar	de Andar c/ Cave	Moderno	introvertido rustico	introvertido urbano	extrovertido rustico	extrovertido urbano	Módulos parciais	Módulos completos	Sistemas mistos leves	Sistemas mistos pesados	Isolamento térmico interior	Situações compostas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Orgânico																														introvertido rustico	introvertido urbano	extrovertido rustico	extrovertido urbano																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
																																			Expressionista	introvertido rustico	introvertido urbano	extrovertido rustico	extrovertido urbano																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Alternativo racional			introvertido rustico	introvertido urbano	extrovertido rustico	extrovertido urbano																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Tabela 59 - Factores de caracterização tipológica para a definição de uma tipologia arquitectónica.

TIPOLOGIA ARQUITECTÓNICA							
SISTEMA FORMAL				SISTEMA CONSTRUTIVO			
FACTORES FUNCIONAIS	FACTORES ESPACIAIS	FACTORES SIMBÓLICOS	MOBILIÁRIO	FACTORES ESTRUTURAIS	FACTORES DA ENVOLVENTE	FACTORES DA COMPARTIMENTAÇÃO	INFRAESTRUTURAS
Quartos (quantidade)	Planta (Geometria)	Cobertura (Forma)	Mobiliário de cozinha	Estrutura vertical (Forma)	Isolamento da fachada (Posição)	Divisórias (Peso)	Infraestruturas de águas e esgotos
Pisos (quantidade)	Perímetro (Geometria)	Detalhes (expressão)	Mobiliário de Instalações sanitárias	Estrutura do pavimento térreo (Forma)	Isolamento da cobertura (Posição)	Divisórias (Composição)	Infraestruturas de electricidade
Compartimentos (áreas)	Volume (Geometria)	Vãos (Dimensão)	Mobiliário de zonas individuais	Estrutura dos pavimentos intermédios (Forma)	Fachada (Materiais)	Pavimentos intermédios (Peso)	Infraestruturas de comunicações
Quartos (Relação quantidade/utentes)	Fachada (Geometria)	Cobertura (Revestimento)	Mobiliário de zonas comuns	Estrutura da cobertura (Forma)	Cobertura (Materiais)	Pavimentos intermédios (Materiais)	Infraestruturas de gás
Circulação (Forma e posição)	Volume (Contacto com o terreno)	Fachada (Revestimento)	Mobiliário exterior	Fundações (Forma)	Isolamento do pavimento térreo (Posição)	Infraestruturas (Integração na compartimentação)	Equipamentos específicos de conforto
Compartimentos de serviço (Posição)	Implantação (Posição no lote)	Guarnições dos vãos (Expressão)		Estrutura vertical (Materiais)	Pavimento térreo (Materiais)	Divisórias móveis (Forma) [se existirem]	
Compartimentos (Orientação)	Divisórias interiores (Fechamento)	Pinázios nos vãos (Expressão)		Estrutura de piso de embasamento (Forma e material) [se existir]	Janelas (Materiais)		
Sala (Geometria)	Divisórias interiores (Mobilidade)	Cobertura ( projecção)		Estrutura dos pisos enterrados (Forma e material [se existir]	Portas (Materiais)		
Escadas (Posição) [se existir]		Paredes interiores (Revestimento)			Protecção de vãos (Materiais)		
Estacionamento (Posição) [se existir]		Tectos interiores (Revestimento)			Estrutura vertical (Posição)		
		Pavimentos interiores (Revestimento)					
		Protecção dos vãos (Forma)					
		Protecção dos vãos (Expressão)					

Fluxograma 10 - Programa base.





#### 6.1.3.1 DEFINIÇÃO DO TIPO SIMBÓLICO

As características funcionais e espaciais resultam de leituras muito objectivas dos problemas colocados pelas necessidades do cliente, mas as características simbólicas são escolhidas com base em preferências subjectivas justificadas por gostos pessoais, por referências e experiências de vida que constituem a cultura estética específica do cliente. Perante o auxílio do catálogo de tipos simbólicos previamente elaborado pelo arquitecto e adoptando critérios de escolha pré-estabelecidos, o cliente deverá conseguir seleccionar um tipo preferencial (cf. Fluxograma 11). Mas, dada a natureza abstracta do tipo e uma vez que os critérios de escolha são múltiplos, surgem normalmente dúvidas que se podem expressar pela atracção simultânea por duas ou mais soluções, criando uma dificuldade na escolha. Neste caso, será importante efectuar uma avaliação criteriosa, ponderando-se critérios relacionados com a integração no contexto, a observação de regulamentos locais que eventualmente limitem construções de determinado tipo, o custo e a durabilidade. Do ponto de vista do método deverá ser elaborada uma tabela de apoio à decisão integrando os critérios mais relevantes.

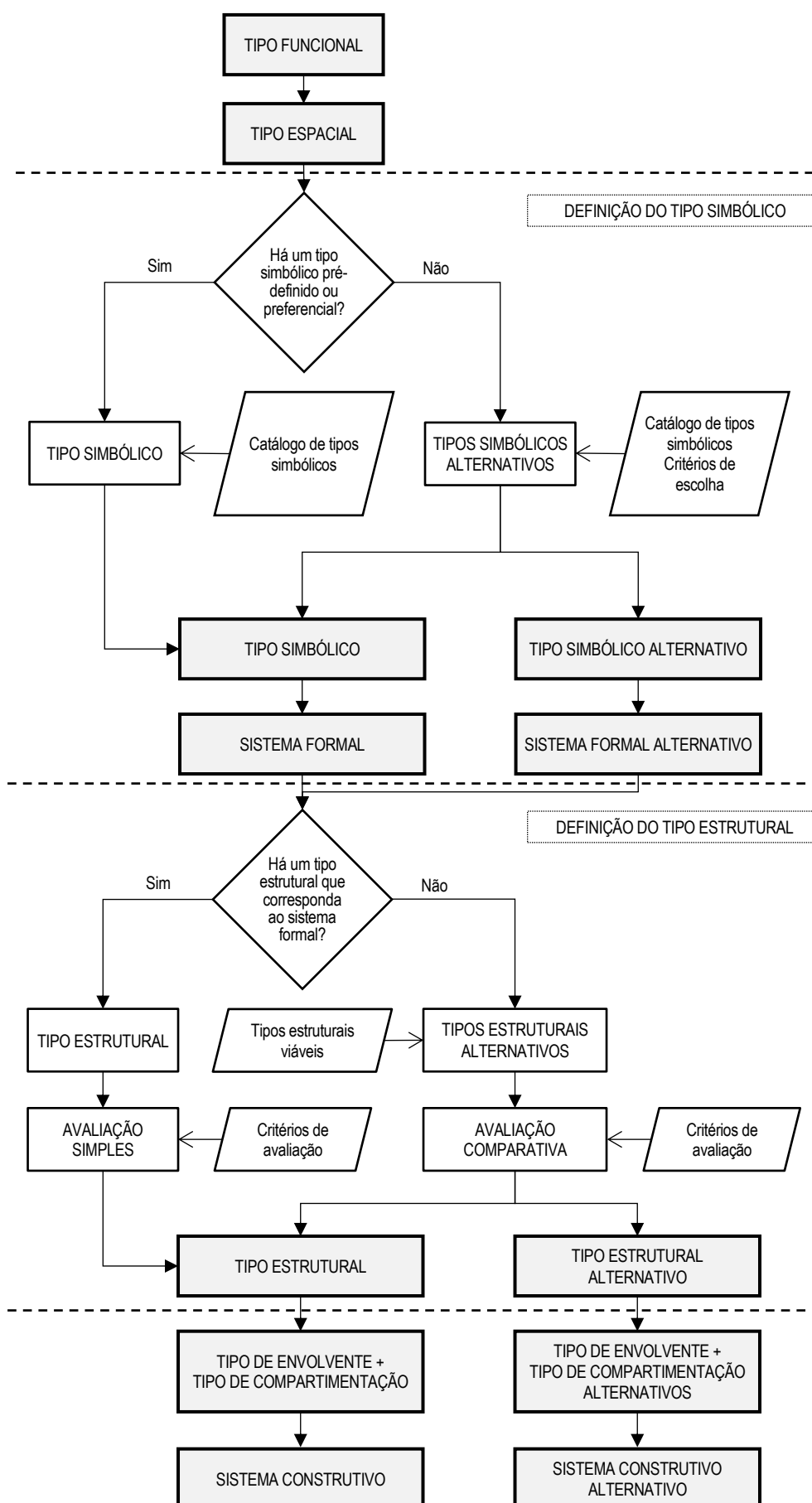
A escolha do tipo simbólico é um passo que poderá parecer óbvio, mas é por vezes descurado nos processos correntes, sendo frequentes as situações em que os Arquitectos desenvolvem várias fases de projecto percebendo apenas em fases mais avançadas, que os clientes não se sentem satisfeitos com a solução global. Acontece nesses casos que o tipo simbólico de referência assumido pelo Arquitecto como adequado não coincidiu com o tipo simbólico que seria o preferido do cliente.

Os tipos simbólicos a ter em conta são, segundo a proposta elaborada no capítulo 2.2, os tradicionais, os modernos, os contemporâneos, os orgânicos, os expressionistas e os alternativos racionais (cf. Tabela 58), embora do ponto de vista prático, sejam os três primeiros os mais comuns do ponto de vista da procura por parte dos clientes. Os restantes tipos simbólicos estão associados a encomendas singulares e normalmente são também relacionados com abordagens experimentais, com custos mais elevados, com tempos de execução maiores, com processos mais elaborados e menos previsíveis.

Uma vez estabelecido com clareza qual o tipo simbólico a desenvolver, é possível completar a definição do sistema formal que permitirá partir para a escolha do sistema construtivo. O sistema construtivo por sua vez tem como base o tipo estrutural que condiciona fortemente as características da envolvente, da compartimentação e das infraestruturas. Sendo assim, o problema do projectista consiste em perceber se o tipo simbólico seleccionado está direccionado para corresponder directamente a um determinado tipo estrutural<sup>292</sup> ou se deverá haver uma análise mais criteriosas de tipos estruturais alternativos a desenvolver (cf. Fluxograma 11). No primeiro caso segue-se para o estudo prévio com o objectivo de desenvolver um modelo cujos tipo simbólico e tipo estrutural estão já definidos e cuja adequação deve ser apenas verificada. No segundo caso, deverão considerar-se alternativas analisando-se e avaliando-se a maior ou menor adequação de cada uma das alternativas estruturais ao tipo simbólico seleccionado.

<sup>292</sup> Os tipos estruturais que estão vinculados directamente a tipos simbólicos são principalmente aqueles em que os componentes estruturais são necessariamente deixados à vista. Exemplos específicos de tipos estruturais que determinam o carácter simbólico das soluções são os reticulados pesados tradicionais, as paredes pesadas de toros e as paredes leves de pranchas e montantes. Também os porticados de pilar viga estão relacionados com a definição do tipo simbólico nas situações em que a estrutura é deixada à vista e fundamentalmente em soluções espaciais pouco compartimentadas e com envolventes de grandes vãos envidraçados. Nestas situações a selecção do tipo estrutural não oferecerá muitas dúvidas, podendo eventualmente prescindir-se da tarefa de selecção de tipos arquitectónicos alternativos com base num outro tipo estrutural.

Fluxograma 11 - Definição dos tipos simbólicos e definição dos tipos estruturais na fase de programa base



### 6.1.3.2 DEFINIÇÃO DO TIPO ESTRUTURAL

O sistema formal e o sistema construtivo no seu conjunto conjugam-se para concretizar a tipologia arquitectónica, cuja definição é o objectivo principal do programa base, ou seja, pretende-se saber através da sua descrição que tipo de solução é desejada pelo o cliente. Ao longo do processo de definição do tipo arquitectónico, depois da escolha do tipo simbólico, o passo decisivo será o da escolha do tipo estrutural (cf. Fluxograma 11). Esta escolha deve ter por base os critérios da maior ou menor compatibilidade entre o sistema construtivo e o sistema formal. Sendo o sistema formal constituído pelos tipos funcional, espacial e simbólico, deveria saber-se em abstracto a compatibilidade entre esses tipos e as várias hipóteses de tipos estruturais. Assim, tendo como objectivo produzir informação para incluir em tabelas de apoio à selecção do tipo estrutural (cf. Tabela 88), analisa-se de seguida o nível de adequação entre tipos estruturais e: tipos funcionais, espaciais e simbólicos, recorrendo a tabelas onde se efectua uma avaliação muito simplificada.

A adequação do tipo estrutural ao tipo funcional é um “não problema”, como se verifica através de uma avaliação simples (cf. Tabela 60), porque quase todos os sistemas estruturais caracterizados são adequados para moradias unifamiliares de todos os tipos funcionais (pequenas, médias ou grandes e térreas ou de andar).

Tabela 60 - Adequação dos tipos estruturais aos tipos funcionais.

TIPOS ESTRUTURAIS	TIPOS FUNCIONAIS				
	Pequeno/ Térreo	Médio/ Térreo	Médio/ Andar	Grande/ Térreo	Grande/ Andar
Reticulados leves	+	+	+	+	+
<b>Porticados</b>	+	+	+	+	+
Reticulados pesados	+	+	+	+	+
<b>Paredes leves</b>	+	+	+	+	+
<b>Painéis leves</b>	+	+	+	+	+
<b>Paredes pesadas</b>	+	+	+	+	+
<b>Painéis pesados</b>	+	+	+	+	+
Módulos parciais	+	+	+	+	+
Módulos completos	+	-	-	-	-
<i>Avaliação: + Maior adequação; - Menor adequação</i>					

A adequação do tipo estrutural ao tipo espacial será um critério importante apenas quando se trata de projectar tipos espaciais complexos, (cf. Tabela 61). Os porticados, os painéis leves e os painéis pesados serão os sistemas mais adequados a geometrias complexas. Como as geometrias complexas exigem mais juntas e transições de planos, os sistemas em que essas transições e juntas se podem efectuar apenas recorrendo ao corte dos componentes serão mais eficazes do que aqueles que exigem duplicação de elementos e ligações mais complexas como acontece com os reticulados leves e pesados e com as paredes leves. No caso dos tipos espaciais intermédios, apenas os reticulados pesados poderão ser menos adequados (embora este seja um tipo estrutural mais vocacionado para a Europa Central).

Tabela 61 - Adequação dos tipos estruturais aos tipos espaciais.

TIPOS ESTRUTURAIS	TIPOS ESPACIAIS		
	Simples	Intermédios	Complexos
Reticulados leves	+	+	-
<b>Porticados</b>	+	+	+
Reticulados pesados	+	-	-
<b>Paredes leves</b>	+	+	-
<b>Painéis leves</b>	+	+	+
<b>Paredes pesadas</b>	+	+	-
<b>Painéis pesados</b>	+	+	+
Módulos parciais	+	+	-
Módulos completos	+	+	-
<i>Avaliação: + Maior adequação; - Menor adequação</i>			

A adequação do tipo estrutural ao tipo simbólico (cf. Tabela 62) embora muito óbvia em algumas situações é por vezes menos directa, levantando dúvidas relativamente à escolha da

solução estrutural mais adequada. Os tipos estruturais serão mais fortemente condicionados por algumas das características parciais do tipo simbólico, como a dimensão dos vãos (que definem um tipo como introvertido ou extrovertido) e o tipo de acabamentos do exterior (que definem um tipo como rústico ou urbano)<sup>293</sup>.

Sintetiza-se na Tabela 62 uma avaliação em que se tenta colocar em evidência as soluções preferenciais para cada sistema. Da avaliação efectuada conclui-se que para todos os sistemas se encontra um tipo simbólico preferencial e apenas três sistemas encontram tipos simbólicos para os quais são menos adequados. Conclui-se ainda que os reticulados leves, os painéis leves (cujo sistema é, nesta avaliação, considerado idêntico aos reticulados leves) e os porticados são os sistemas mais flexíveis em termos de adequação.

Esta avaliação no entanto depara-se com a dificuldade de identificar claramente a solução que se está a apreciar uma vez que cada sistema admite um leque de variantes que devem ser considerados numa avaliação mais pormenorizada.

Tabela 62 - Adequação dos tipos estruturais aos tipos simbólicos - Soluções preferenciais.

TIPOS ESTRUTURAIS	TIPOS SIMBÓLICOS			
	TRADICIONAIS, CONTEMPORÂNEOS, MODERNOS			
	Introvertido rústico	Introvertido urbano	Extrovertido rústico	Extrovertido urbano
Reticulados leves		+		
<b>Porticados</b>			+	+
Reticulados pesados	+		-	-
<b>Paredes leves*</b>	+			-
<b>Painéis leves</b>		+		
<b>Paredes pesadas</b>	+	-		-
<b>Painéis pesados</b>		+		

*Avaliação: + Maior adequação; - Menor adequação*

*\* Nota: Por "paredes leves" entende-se neste caso o sistema particular de paredes de pranchas e montantes.*

### 6.1.3.3 ADEQUAÇÃO DO TIPO ESTRUTURAL AO TIPO SIMBÓLICO

Pode-se efectuar uma análise mais pormenorizada se forem identificados subtipos estruturais em concreto. Será lógico, neste caso, considerar apenas os sistemas utilizados nos casos de estudo: os porticados pilar-viga, os reticulados leves, as paredes pesadas de toros e os painéis pesados de lamelados colados, incluindo-se aqui também as paredes leves de pranchas e montantes por ser um sistema com uma presença significativa no mercado nacional. Assim efectuou-se uma análise específica de cada um destes sistemas utilizando o critério "adequação" e atribuindo-se dois valores possíveis de avaliação: maior adequação, e menor adequação, estando implícita a neutralidade da solução nos casos em que nenhum dos dois primeiros valores são apropriados.

A avaliação resultou da observação do nível de adequação de cada uma das características principais dos tipos simbólicos ao subtipo estrutural específico. A maior adequação ocorre quando as características do tipo estrutural remetem directamente para as características de um tipo simbólico em termos dos detalhes (subtipos tradicional, contemporâneo ou moderno), da dimensão dos vãos (introvertido, extrovertido) e dos acabamentos exteriores (rústico ou urbano). A menor adequação ocorre quando o tipo estrutural pela sua natureza coloca dificuldades à concretização das características de um tipo simbólico, em termos técnicos, económicos ou formais. Finalmente, a neutralidade ocorre quando um tipo estrutural pode ser sem dificuldade (económica, técnica ou formal) adaptado às características do tipo simbólico.

<sup>293</sup> As características que definem um tipo como tradicional, contemporâneo ou moderno, referem-se ao tipo de cobertura e de detalhes, condicionando menos os tipos estruturais quando considerados genericamente.

### Reticulados leves

O sistema de reticulados leves (cf. Tabela 63) tem maior apetência para ser utilizado com os tipos simbólicos introvertidos uma vez que a estrutura base é formada por “painéis reticulados” portantes, em que a continuidade da envolvente e a disposição da compartimentação têm um papel importante na rigidez do conjunto. Quanto ao carácter rústico ou urbano, sendo este um sistema que admite vários tipos de revestimento, pode considerar-se adequado às duas situações. No entanto não compete com outros sistemas (em que a estrutura é visível) mais naturalmente adequados aos tipos tradicionais introvertidos rústicos. Do ponto de vista da tradição das regiões onde este tipo tem origem, são as características urbanas as que mais se desenvolveram ao nível do tipo simbólico. Não se encontram tipos simbólicos que possam ser considerados menos adequados aos reticulados leves.

Tabela 63 - Adequação do subtipo de reticulados leves aos vários tipos simbólicos.

TIPO SIMBÓLICO	MAIOR ADEQUAÇÃO	NEUTRALIDADE	MENOR ADEQUAÇÃO
Tipo tradicional introvertido rustico		X	
Tipo tradicional introvertido urbano	X		
Tipo tradicional extrovertido rustico		X	
Tipo tradicional extrovertido urbano		X	
Tipo contemporâneo introvertido rustico	X		
Tipo contemporâneo introvertido urbano	X		
Tipo contemporâneo extrovertido rustico		X	
Tipo contemporâneo extrovertido urbano		X	
Tipo moderno introvertido rustico	X		
Tipo moderno introvertido urbano	X		
Tipo moderno extrovertido rustico		X	
Tipo moderno extrovertido urbano		X	

### Porticados pilar-viga

Os porticados de pilar-viga são um sistema preferencial para soluções de tipos extrovertidos uma vez que estes admitem naturalmente vãos de grandes dimensões proporcionando envolventes construídas muito desmaterializadas pela introdução de amplas janelas e grande envidraçados (cf. Tabela 64). Por outro lado, os porticados adaptam-se a qualquer tipo de revestimento, admitindo por isso tanto os tipos rústicos (como os que surgem na tradição americana dos sistemas “timber-frame”), como os tipos urbanos da tradição das primeiras habitações coloniais que dificilmente se distinguem na aparência dos reticulados leves. Não se encontram tipos simbólicos que sejam menos adequados aos porticados de pilar-viga.

Tabela 64 - Adequação do subtipo de porticados pilar-viga aos vários tipos simbólicos.

TIPO SIMBÓLICO	MAIOR ADEQUAÇÃO	NEUTRALIDADE	MENOR ADEQUAÇÃO
Tipo tradicional introvertido rustico		X	
Tipo tradicional introvertido urbano		X	
Tipo tradicional extrovertido rustico	X		
Tipo tradicional extrovertido urbano	X		
Tipo contemporâneo introvertido rustico		X	
Tipo contemporâneo introvertido urbano		X	
Tipo contemporâneo extrovertido rustico	X		
Tipo contemporâneo extrovertido urbano	X		
Tipo moderno introvertido rustico		X	
Tipo moderno introvertido urbano		X	
Tipo moderno extrovertido rustico	X		
Tipo moderno extrovertido urbano	X		

### Paredes pesadas de toros serrados

O sistema de paredes pesadas de toros tem maior apetência para integrar os tipos tradicionais e introvertidos, apresentando limitações em relação aos tipos urbanos, devido aos detalhes elaborados e acabamentos em madeira à vista que lhe são característicos (cf. Tabela 65). O sistema apresenta também limitações em relação aos tipos extrovertidos e limitações em geral aos tipos contemporâneos e modernos.

Tabela 65 - Adequação do subtipo de paredes pesadas de toros serrados aos vários tipos simbólicos.

TIPO SIMBÓLICO	MAIOR ADEQUAÇÃO	NEUTRALIDADE	MENOR ADEQUAÇÃO
Tipo tradicional introvertido rustico	X		
Tipo tradicional introvertido urbano			X
Tipo tradicional extrovertido rustico		X	
Tipo tradicional extrovertido urbano			X
Tipo contemporâneo introvertido rustico			X
Tipo contemporâneo introvertido urbano			X
Tipo contemporâneo extrovertido rustico			X
Tipo contemporâneo extrovertido urbano			X
Tipo moderno introvertido rustico			X
Tipo moderno introvertido urbano			X
Tipo moderno extrovertido rustico			X
Tipo moderno extrovertido urbano			X

### Painéis pesados de lamelados cruzados colados

O sistema de painéis de lamelados cruzados colados tem maior apetência para os tipos introvertidos. Uma vez que os painéis são portantes, não se adaptam tanto a soluções em que a envolvente seja muito desmaterializada (cf. Tabela 66). No entanto não se apresenta como um sistema que seja limitador de qualquer tipo simbólico porque está associado a uma envolvente revestida necessariamente pelo exterior.

Tabela 66 - Adequação do subtipo de painéis pesados de lamelados cruzados colados aos vários tipos simbólicos.

TIPO SIMBÓLICO	MAIOR ADEQUAÇÃO	NEUTRALIDADE	MENOR ADEQUAÇÃO
Tipo tradicional introvertido rustico		X	
Tipo tradicional introvertido urbano	X		
Tipo tradicional extrovertido rustico		X	
Tipo tradicional extrovertido urbano		X	
Tipo contemporâneo introvertido rustico	X		
Tipo contemporâneo introvertido urbano	X		
Tipo contemporâneo extrovertido rustico		X	
Tipo contemporâneo extrovertido urbano		X	
Tipo moderno introvertido rustico	X		
Tipo moderno introvertido urbano	X		
Tipo moderno extrovertido rustico		X	
Tipo moderno extrovertido urbano		X	

### Paredes leves de pranchas e montantes

O sistema de paredes leves de pranchas e montantes será preferencialmente utilizado para situações de tipos rústicos uma vez que os componentes estruturais em madeira são deixados à vista pelo exterior (cf. Tabela 67). Uma vez que a sua base estrutural são as paredes portantes, os tipos extrovertidos serão naturalmente menos adequados. O nível de detalhes (remates) mais elaborados e o tipo de acabamento exterior em madeira à vista conferem-lhe menos apetência para formalizar tipos contemporâneos e modernos.

Tabela 67 - Adequação do subtipo paredes leves de pranchas e montantes aos vários tipos simbólicos.

TIPO SIMBÓLICO	MAIOR ADEQUAÇÃO	NEUTRALIDADE	MENOR ADEQUAÇÃO
Tipo tradicional introvertido rustico	X		
Tipo tradicional introvertido urbano		X	
Tipo tradicional extrovertido rustico		X	
Tipo tradicional extrovertido urbano		X	
Tipo contemporâneo introvertido rustico		X	
Tipo contemporâneo introvertido urbano			X
Tipo contemporâneo extrovertido rustico		X	
Tipo contemporâneo extrovertido urbano			X
Tipo moderno introvertido rustico		X	
Tipo moderno introvertido urbano			X
Tipo moderno extrovertido rustico		X	
Tipo moderno extrovertido urbano			X

### Síntese

Da análise efectuada conclui-se, embora sem surpresas, que os porticados são os tipos estruturais mais flexíveis, seguidos dos reticulados leves e dos painéis CLT. Serão menos flexíveis os painéis de pranchas e as paredes de toros. Estes dois últimos entretanto têm a vantagem específica de estar associados a sistemas formais singulares relacionados com a

estética da madeira estrutural, não podendo as suas características naturais ser imitadas pelos outros sistemas sem prejudicar o carácter e a autenticidade arquitectónica.

A Tabela 68 resume a análise efectuada, assinalando-se os casos de “maior adequação”, ou adequação natural e de “menor adequação”. Esta não pode no entanto ser considerada uma avaliação absoluta uma vez que apenas considera o factor de adequação entre tipo simbólico e tipo estrutural. O tipo de envolvente será em alguns casos muito importantes para estabelecer o nível de adequação porque o revestimento, sendo uma característica da envolvente, pode modificar esse valor de “não adequado” para “adequado”.

Tabela 68 - Síntese da adequação dos vários subtipos estruturais aos vários tipos simbólicos.

SIMBÓLICO	TIPOS				
	Reticulados leves	Porticado	Toros	Painéis CLT	Pranchas
Tipo tradicional introvertido rustico			+		+
Tipo tradicional introvertido urbano	+		-	+	
Tipo tradicional extrovertido rustico		+			
Tipo tradicional extrovertido urbano		+	-		
Tipo contemporâneo introvertido rustico	+		-	+	
Tipo contemporâneo introvertido urbano	+		-	+	-
Tipo contemporâneo extrovertido rustico		+	-		
Tipo contemporâneo extrovertido urbano		+	-		-
Tipo moderno introvertido rustico	+		-	+	
Tipo moderno introvertido urbano	+		-	+	-
Tipo moderno extrovertido rustico		+	-		
Tipo moderno extrovertido urbano		+	-		-

*Avaliação: + Maior adequação; - Menor adequação*

Nas situações de projecto em que vários tipos estruturais se adequem ao tipo simbólico estabelecido como referência, deverão definir-se alternativas para desenvolvimento e posterior avaliação.

Nos casos em que o tipo estrutural resulta directamente da escolha efectuada para o tipo simbólico, a selecção da solução estrutural torna-se praticamente directa. Mas mesmo nestes casos pode dar-se a situação de o tipo simbólico e o tipo estrutural não irem ao encontro de outros factores de contexto com peso na decisão como os custos ou a disponibilidade dos fabricantes em termos de oferta e prazos de construção.

#### 6.1.3.4 DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS

A definição do tipo ou dos tipos estruturais não consiste apenas numa avaliação da adequação destes aos tipos simbólicos e formais. A avaliação a efectuar é mais ampla e deve ser efectuada no âmbito de um cenário que inclua as condicionantes mais importantes do projecto. Assim, o problema do projecto deve ser estruturado com base na definição dos critérios relevantes para análise e avaliação das soluções e mediante o estabelecimento dos respectivos pesos.

Podem-se distinguir três tipos de critérios genéricos a ter em conta na definição do problema de projecto e a ter em conta na definição das opções de projecto: 1) os critérios independentes da vontade e opções do cliente e de cumprimento obrigatório; 2) os critérios estabelecidos pelo cliente que definem metas claramente quantificáveis; e 3) os critérios estabelecidos pelo cliente em que as metas não são definidas por um parâmetro, mas por um conjunto de parâmetros mais dificilmente quantificáveis num único valor.

Da lista de critérios de cumprimento obrigatório (cf. Tabela 69) que são codificados em regulamentos e normas distinguem-se entre os que afectam o âmbito específico da Arquitectura (os factores de uso) e os das especialidades que devem no entanto ser cumpridos de forma integrada com o apoio das várias disciplinas da Engenharia.



Os factores de uso são os que directamente afectam as características que definem um sistema formal, principalmente a espacialidade e a funcionalidade. Os factores técnicos, como o desempenho energético, segurança estrutural, segurança contra incêndio, acústica e durabilidade, embora integrados nas soluções arquitectónicas afectam mais directamente o sistema construtivo, principalmente a solução estrutural e a solução da envolvente construída do edifício.

Tabela 69 - Critérios codificados em regulamentos e normas.

REGULAMENTOS	
USO	Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) Regulamento Jurídico da Urbanização e da Urbanização (RJUE) Regime de acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos, Normas Técnicas de acessibilidade Plano Director Municipal (PDM) Plano de Urbanização (PU) Regulamento Municipal da Urbanização e da Edificação (RMUE)
DESEMPENHO ENERGÉTICO	Sistema de Certificação Energética (SCE) Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)
SEGURANÇA ESTRUTURAL	EUROCÓDIGO relativo às bases para o projecto de estruturas EUROCÓDIGO 1 relativo às acções em estruturas EUROCÓDIGO 5 relativo ao projecto de estruturas de madeira EUROCÓDIGO 7 relativo ao projecto geotécnico EUROCÓDIGO 8 relativo ao projecto de estruturas para resistência aos sismos Normas específicas referentes aos produtos a utilizar
SEGURANÇA CONTRA RISCOS DE INCÊNDIO	EUROCÓDIGO 5 relativo ao projecto de estruturas de madeira Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE)
ACÚSTICA	Regulamento Geral do Ruído (RGR) Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios (RRAE)
DURABILIDADE	EN335 Durabilidade da madeira e de produtos derivados EN 460 Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça Guia de exigências de durabilidade das madeiras na sua utilização seguindo as classes de risco Outras normas de incidência em produtos específicos
CONSTRUÇÃO	Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção
OUTROS	Regulamentos e normas relativos às diversas infraestruturas

Os critérios mandatórios definidos pelo cliente (cf. Tabela 70) são aqueles para os quais é possível estabelecer valores quantitativos que fixam limites às características das soluções, podendo funcionar como critérios de rejeição de soluções. Devem ser definidos pelo cliente valores limite para factores como o preço que está disposto a pagar pela obra, o valor que está disposto a pagar anualmente para a sua manutenção e ainda o prazo de construção limite que se considera razoável.

Eventualmente pode-se também decidir adoptar um sistema voluntário de avaliação ambiental que também estabelecerá limites quantificáveis para os critérios que afectam as escolhas e as soluções, funcionando como um dispositivo adicional de controlo da aplicação dos critérios pré-definidos. Estes sistemas funcionam na prática através do estabelecimento de objectivos, que incidem sobre a obtenção de níveis de qualidade (ou de comportamento esperado) acima do nível mínimo definido pelos regulamentos, com incidência nas exigências ambientais e de conforto. Já foi antes referido que nível de qualidade do projecto pode também ser definido objectivamente pelo cliente no âmbito das características funcionais da habitação (Pedro, Definição e avaliação da qualidade arquitectónica habitacional, 2003), podendo ser fixados níveis acima do mínimo regulamentar (níveis recomendável e óptimo).

Tabela 70 - Critérios mandatórios definidos pelo cliente.

<b>ECONOMIA</b>	
Custo da construção	Definição de um limite de preço de construção.
Custos de manutenção	Definição de um limite de preço para os custos de manutenção anuais.
<b>PROCESSO</b>	
Prazo de construção	Definição de um prazo limite para entrega da obra.
<b>QUALIDADE</b>	
AMBIENTE	Eventual utilização de sistemas voluntários de avaliação da qualidade. Eventual utilização de critérios parciais considerados importantes.
USO	Eventual definição de um nível de qualidade para as definições funcionais.

Os critérios em que é mais difícil estabelecer níveis quantitativos imediatos, porque não são quantificáveis ou porque não o são através de um único parâmetro, exigindo um conjunto variado de parâmetros, referem-se aos aspectos arquitectónicos, às características das empresas e aos factores ambientais em geral (se não for adoptado um sistema objectivo de avaliação ambiental). Estes apresentam-se basicamente como critérios que poderão ser definidos e utilizados facultativamente quando se efectua uma análise comparativa entre diferentes soluções. Alguns critérios deste tipo constam da Tabela 71 e deverão ser definidos caso a caso e integrados na matriz de apoio à escolha do tipo estrutural (cf. Tabela 89 no capítulo 6.2 - Definição do programa).

A fixação de critérios ao nível arquitectónico permitirá verificar a qualidade arquitectónica das soluções, especialmente no que se refere à integração da estrutura nos aspectos funcionais, espaciais e simbólicos e também relativamente à integração entre os aspectos formais arquitectónicos e a durabilidade previsível da solução.

A fixação de critérios relativamente às empresas incide sobre os actores envolvidos no projecto, fabrico e construção tendo em vista escolher aqueles que são mais adequados para os objectivos específicos do projecto. São assim avaliados os intervenientes (principalmente fabricantes e construtores) quanto à sua capacidade para concretizar a obra. Este critério permite avaliar um tipo estrutural quando haja uma associação clara entre este e uma determinada empresa.

A fixação de critérios ambientais permitiria comparar as soluções com base em critérios ambientais genéricos mas considerados relevantes, como as emissões de CO<sub>2</sub>, a produção de resíduos e o potencial de reciclagem das soluções.

Tabela 71 - Critérios com pesos para avaliação ponderada definidos pelo cliente

<b>ARQUITECTURA</b>	
Tipo funcional/espacial	Adequação do tipo estrutural ao tipo funcional e espacial
Tipo simbólico	Adequação do tipo estrutural ao tipo simbólico
Satisfação com o tipo arquitectónico	Adequação do tipo arquitectónico às expectativas do cliente
Durabilidade da Arquitectura	Nível de durabilidade das definições arquitectónicas
<b>EMPRESAS</b>	
Fabricante	Capacidade, historial, garantias, potencial e disponibilidade do fabricante (prazos)
Construtor	Capacidade, historial, garantias, potencial e disponibilidade do construtor (prazos)
Especialidades/ Consultores	Competência da equipa das equipas das especialidades na construção em madeira
<b>AMBIENTE</b>	
Armazenamento de CO <sub>2</sub>	Estimativa do armazenamento de CO <sub>2</sub> em função da madeira utilizada
Emissões de CO <sub>2</sub>	Estimativa das emissões de CO <sub>2</sub> da construção
Resíduos em obra	Nível de redução de resíduos em obra
Potencial de reciclagem	Potencial de reciclagem e reutilização dos elementos construtivos

#### 6.1.4 ESTUDO PRÉVIO

Depois de definidas as características das tipologias arquitectónicas com base nos sistemas formais e construtivos, passa-se à fase de estudo prévio (cf. Fluxograma 12) que tem essencialmente três objectivos principais: 1) A concepção das soluções arquitectónicas baseadas nos tipos arquitectónicos e nas condicionantes estabelecidas ao nível do programa base; 2) A avaliação de cada uma das alternativas de solução; e 3) A definição da solução arquitectónica final.

A fase de concepção de cada uma das soluções alternativas consiste na sua definição desenhada, correspondente às características tipológicas definidas para os tipos funcional, espacial, simbólico, estrutural, de envolvente e de compartimentação. A solução deverá também ter em conta todas as condicionantes, bem como os regulamentos e normas aplicáveis listados na fase de programa base.

A solução formal será concretizada através da representação desenhada das características definida para o tipo funcional, espacial e simbólico. O tipo funcional é materializado através da representação da distribuição das zonas funcionais em planta. O tipo espacial é representado pelo conjunto das peças desenhadas tradicionais (plantas, cortes, alçados e perspectivas). Finalmente o tipo simbólico consiste na integração desses elementos no que diz respeito à concepção formal geral e de pormenor (acabamentos, proporções e detalhes). Este processo de integração é realizado tendo em conta estratégias de projecto (incluídas no método proposto) que visam garantir os requisitos estabelecidos pelo cliente como prioritários. Exemplo dessas estratégias são a “Arquitectura”, a “durabilidade”, a “economia” e o “comportamento ambiental”. Parte-se do princípio que o cliente das casas de madeira valorizará fundamentalmente a solução arquitectónica, mas a economia e a durabilidade podem ser considerados critérios de projecto igualmente importantes e em alguns casos a adopção de critérios ambientais poderá tornar-se até a preocupação dominante.

A solução construtiva deverá ser desenvolvida num processo de integração e concepção simultânea com a solução formal, implicando processos de revisão sucessivos de uma e de outra. Este processo é necessário até porque por vezes é difícil estabelecer os limites que distinguem a solução formal da solução construtiva. No entanto é possível sempre identificar a solução estrutural, podendo ser efectuada em relação a esta uma abordagem individualizada por parte do arquitecto. Esta será facilitada pelo apoio das empresas e das engenharias e pela integração de informações relativamente aos produtos estruturais disponibilizados pelo mercado. O método proposto implica adopção de procedimentos de projecto estruturados que visam evitar erros por omissão de problemas e ainda adopção de estratégias de projecto cujo objectivo consiste em valorizar os aspectos de “economia”, de “durabilidade” e de “integridade construtiva”. Estes procedimentos e estratégias são desenvolvidos no capítulo 6.3. (Definição do estudo prévio). As soluções de envolvente e de compartimentação na maior parte dos casos decorrem das opções estruturais, surgindo como um resultado lógico da sua integração na solução construtiva, que em conjunto com a solução formal estabelecem a solução arquitectónica.

A definição de uma solução arquitectónica é acompanhada normalmente da definição de soluções alternativas cujo objectivo é permitir a escolha criteriosa da melhor solução. O método proposto prevê a avaliação comparativa de soluções com base método de avaliação multicritério que permita classificar e ordenar as soluções com base numa soma ponderada de critérios. O critério preço nesta fase deverá ser formulado com base no pedido de orçamentos às empresas de construção e fabrico de casas de madeira. A melhor solução

será depois desenvolvida em conjunto com as empresas, podendo então avançar-se para a fase de projecto base e posteriormente para projecto de execução.

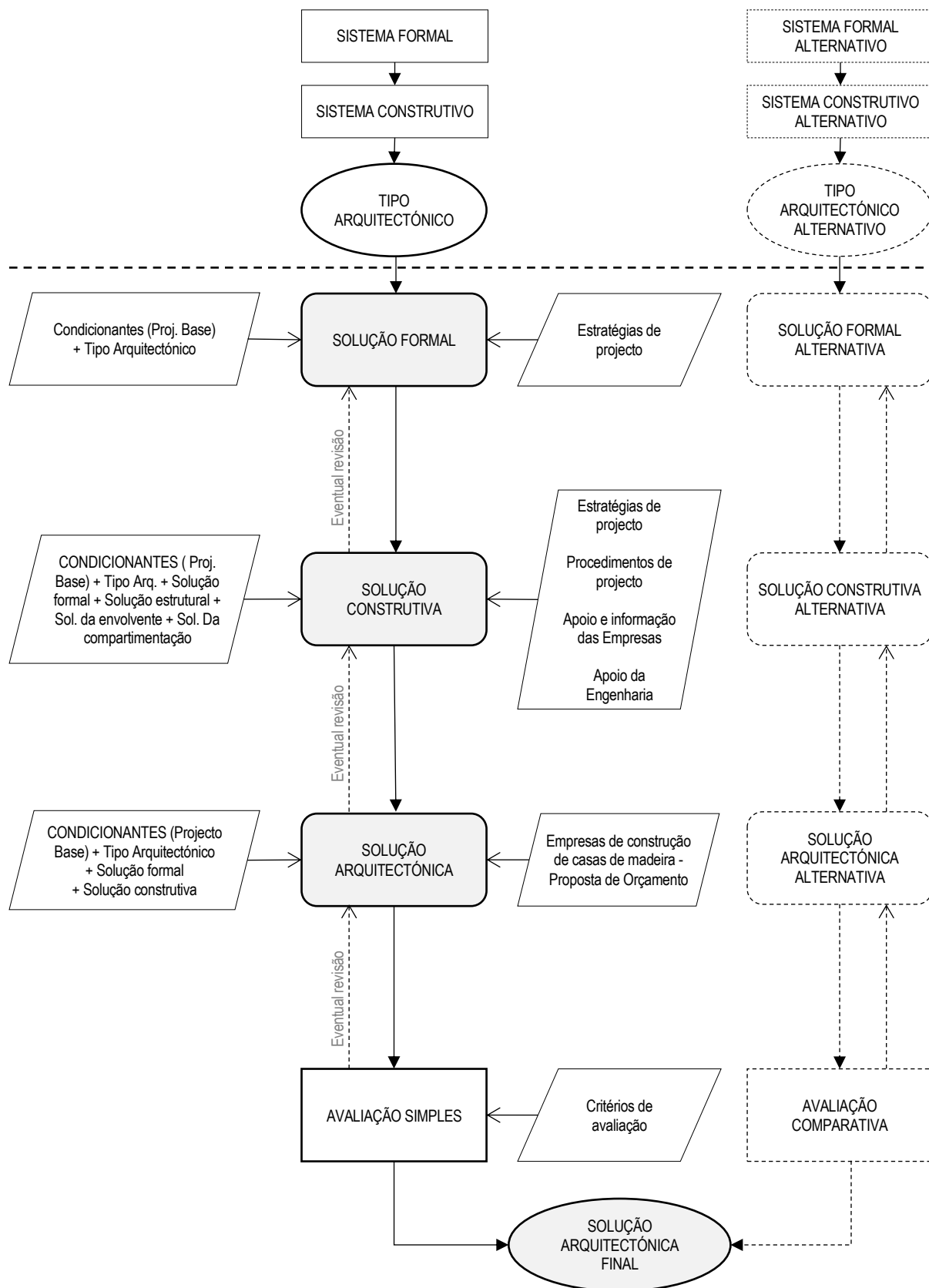
A avaliação das soluções alternativas requer a definição dos critérios já referidos: a economia, o processo, a qualidade, a Arquitectura, as empresas, o ambiente e eventualmente outros que sejam relevantes para o cliente. Esta avaliação pode ser efectuada tendo em conta a comparação entre alternativas de tipos arquitectónicos diferentes ou a comparação entre alternativas do mesmo tipo mas fornecido por diferentes empresas (com eventuais variações nas soluções específicas). Cada um dos critérios principais de avaliação (sugeridos na Tabela 72) pode incluir vários subcritérios e tanto uns como outros poderão ainda estar associados a um limiar ou a um peso específico que deverá ter sido já equacionado e definido na fase anterior (programa preliminar).

Após efectuada a análise e atribuída uma avaliação global, obtém-se uma pontuação associada a cada proposta que permite seleccionar aquela que do ponto de vista do cliente será a mais adequada.

Tabela 72 - Critérios de avaliação (Síntese).

<b>ECONOMIA</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>QUALIDADE</b>	<b>ARQUITECTURA</b>	<b>EMPRESAS</b>	<b>AMBIENTE</b>
Custo construção	Prazo de construção	Nível de qualidade de uso	Adequação do sistema construtivo ao tipo Funcional/Espacial	Fabricante	Armazenamento de CO2
Custo manutenção		Sistema voluntário de certificação	Adequação do sistema construtivo ao tipo Simbólico	Construtor	Emissões de CO2
			Satisfação com o tipo Arquitectónico	Especialidades	Resíduos em obra
			Durabilidade das soluções arquitectónicas		Potencial de Reciclagem

Fluxograma 12 - Estudo prévio.



### 6.1.5 PROJECTO BASE

O projecto base tem como ponto de partida a solução arquitectónica escolhida na fase anterior. O desenvolvimento do projecto base não se revela importante do ponto de vista do método proposto uma vez que este incide nas duas fases anteriores (programa base e estudo prévio). O projecto base corresponde em termos de desenho a um aumento da escala dos desenhos técnicos e por isso mesmo a uma maior definição ao nível dos pormenores. Esta fase tem como objectivo prático fundamental a formalização do processo a entregar para apreciação das entidades licenciadoras. Tradicionalmente esta é também a fase na qual se desenvolve a solução até um ponto em que é possível aos fabricantes/construtores a análise e fornecimento de propostas de preços com uma base mais segura.

No contexto do método proposto o projecto base torna-se praticamente numa fase de produção de desenhos. No entanto esta fase deve implicar também um processo de verificação. Antes de serem finalizados os desenhos técnicos, deve haver uma revisão de três parâmetros fundamentais: 1) A conformidade com os regulamentos em vigor do ponto de vista da Arquitectura (que pode ser auxiliada por um controlo prévio, ou seja de uma reunião, com as entidades licenciadoras); 2) A análise da durabilidade da Arquitectura, verificando os critérios adoptados na fase de estudo prévio e a existência de pontos fracos que podem ser corrigidos ou relativamente aos quais devam ser tomadas medidas construtivas para evitar problemas futuros; e 3) A análise das normas técnicas e regulamentos em vigor aplicáveis às especialidades. Depois destes procedimentos conclui-se a documentação de projecto, integrando, para além da Arquitectura todos os projectos de Engenharia. Se a escolha da empresa de fabrico e construção não foi ainda efectuada com base no estudo prévio, deve-se fazê-lo nesta altura.

Na fase de projecto base, a actividade mais relevante e singular na área da construção em madeira será a da verificação da durabilidade da solução tendo como referência os critérios que se listam na tabela das estratégias de durabilidade (cf. Tabela 96). Em termos gerais deve-se controlar a humidade dos elementos de madeira mais expostos. Através da avaliação das classes de risco dos componentes devem adoptar-se as medidas previstas para cada classe de risco, privilegiando-se as medidas construtivas que permitam reduzir o risco e evitar a necessidade de tratamento químico da madeira. Devem-se também introduzir mecanismos de controlo do acesso de térmitas nos casos em que esse seja um risco relevante a considerar.

O controlo do conteúdo de humidade consiste primeiro em identificar os elementos da construção que devido à sua forma ou posição ficam mais vulneráveis às acções nefastas do ambiente, nomeadamente à acumulação de água, à exposição à humidade, à chuva e vento e à incidência solar. A protecção destes elementos faz-se directamente através de projecções, inclinações, revestimentos e dispositivos de drenagem<sup>294</sup>.

<sup>294</sup> Devem instalar-se dispositivos de recolha de água nos perímetros, minimizar-se descontinuidades em elementos expostos, usar-se capeamentos e rufos nas intersecções e topos, e utilizar-se revestimentos, telas e selantes para proteger a envolvente. É fundamental também garantir o afastamento dos elementos de madeira do solo e das fontes de humidade, prevenindo-se a ventilação de espaços vazios e a drenagem das águas para o exterior. Nos elementos mais

### 6.1.6 PROJECTO DE EXECUÇÃO

O projecto de execução de Arquitectura consiste no desenvolvimento dos documentos de comunicação à obra. O conteúdo do processo de projecto de execução pode depender muito do tipo de coordenação que se considera mais adequado em cada caso específico. Tendo em conta todas as variantes possíveis, o processo aqui proposto visa contemplar a situação mais equilibrada de projecto, em que a equipa do Arquitecto e a equipa do fabricante/construtor funcionam de modo integrado, desempenhando funções complementares. Assim, pode ser o fabricante a desenvolver em primeiro lugar o processo dos desenhos de fabrico com base nas especificações e definições dos projectos já desenvolvidos (estudo prévio, ou projecto base). Esta opção justifica-se uma vez que os componentes a utilizar correspondem normalmente a lógicas, regras e normas específicas dos produtos e sistemas produzidos por cada empresa. Depois da fase em que se concebem os desenhos e pormenores de fabrico, o Arquitecto após a revisão e verificação da compatibilidade destes com o projecto poderá proceder ao desenvolvimento do processo de projecto de execução de Arquitectura e das restantes especialidades.

Nesta fase, é fundamental também o desenvolvimento e verificação dos pormenores de Arquitectura que garantam a durabilidade da construção. Deve ser seguida uma estratégia de identificação de cada um dos pontos da construção que se considerem críticos do ponto de vista da durabilidade. Os pormenores que garantem a durabilidade das estruturas e dos componentes de madeira seguem os critérios de durabilidade listados para a fase de estudo prévio e a lógica descrita anteriormente: medidas de controlo de humidade, uso de materiais duráveis, e medidas de protecção de térmitas. Para além da durabilidade, os pormenores devem também ser enquadrados pelos critérios de integridade construtiva, nomeadamente ao nível das ligações dos elementos construtivos, tal como listados também para a fase de estudo prévio.

Grande parte do projecto de execução de Arquitectura consistirá no processo tradicional de produção de desenhos a escalas adequadas (1:50, 1:20, 1:5, 1:2 e 1:1). Para além dos detalhes construtivos específicos da construção em madeira, o esforço de concepção destes desenhos é, tal como em qualquer projecto, direccionado para todo o tipo de acabamentos, mobiliário fixo e móvel, equipamentos e infraestruturas que são complementares dos elementos estruturais. Finalizado o projecto de execução é possível obter um orçamento global da obra que inclua todos os trabalhos previstos.

Deve ainda desenvolver-se um plano de manutenção da obra, já sugerido ao nível do estudo prévio, que consistirá na calendarização de acções de inspecção da qualidade da construção, de intervenção nos revestimentos, nos tratamentos e acções de substituição de elementos em função do seu tempo de vida previsível.

---

expostos poderá ser evitada a utilização de produtos químicos de tratamento através da utilização de materiais duráveis, nomeadamente através da escolha de madeira com elevada durabilidade natural. Em alternativa pode justificar-se recorrer a peças sacrificiais acompanhadas de um programa de substituição e em situações críticas, deve ponderar-se a utilização de componentes de materiais alternativos. O controlo de térmitas, para além do tratamento da madeira pode fazer-se através da instalação de barreiras de solo (gravilha calibrada, grelhas de aço, etc.), da instalação de escudos de térmitas ou de armadilhas com iscos.



### 6.1.7 SÍNTESE

O processo de projecto proposto (cf. Tabela 73), baseado na definição de tipos arquitectónicos, é apenas um aspecto de todo o processo de projecto com incidência essencialmente nas fases do programa base e de estudo prévio. Estas duas primeiras fases do processo de projecto (programa base e estudo prévio) comportam um grande número de soluções decisivas para o êxito da solução final. No programa base descrevem-se as soluções e no estudo prévio estas são concretizadas. As fases seguintes, sendo trabalhosas, constituem mais um desenvolvimento decorrente das fases anteriores. O projecto base pode ser essencialmente um documento para avaliação das entidades licenciadoras e grande parte do trabalho do projecto de execução pode ser partilhado com a empresa de fabrico e construção.

Tabela 73 - Síntese das fases de projecto.

FASES - PROJECTO	DADOS E CRITÉRIOS	ACTIVIDADES - ANÁLISE	RESULTADOS
PROGRAMA PRELIMINAR (CONDICIONANTES)	Dados do contexto Dados do cliente Regulamentos	Lista de dados do contexto Lista de dados do cliente Prioridade dos critérios de decisão <sup>295</sup>	Lista de condicionantes Critérios e Pesos
PROGRAMA BASE (OBJECTIVOS)	Características funcionais, espaciais, simbólicas, estruturais, envolvente, compartimentação Catálogo de tipos simbólicos Tipos estruturais viáveis Critérios de escolha Critérios de avaliação	Definição dos tipos funcional e espacial Determinação do limite orçamental Definição do tipo simbólico <b>Definição do tipo estrutural</b> <b>Avaliações</b> Opções de projecto para cada tipo estrutural Definição dos tipos de envolvente e compartimentação	Sistema formal Sistema construtivo  <b>Tipo arquitectónico</b>
ESTUDO PRÉVIO (CONCEPÇÃO)	Estratégias de projecto Procedimentos de projecto Apoio e informação (Empresas) Apoio de Engenharias Critérios de avaliação e ponderações	Solução formal Solução construtiva Solução arquitectónica Consulta às empresas <b>Avaliação comparativa</b> <sup>296</sup> Avaliação de propostas alternativas	Orçamento <b>Solução arquitectónica</b> ao nível do estudo prévio
PROJECTO BASE (VERIFICAÇÃO)	Regulamentos Arquitectura Critérios de durabilidade de projecto geral Regulamentos especialidades Lógicas de fabrico	Verificação das exigências arquitectónicas <b>Verificação da durabilidade geral</b> Verificação técnica Consulta às especialidades Desenvolvimento de peças desenhadas Consulta às empresas	<b>Solução arquitectónica</b> ao nível do projecto base para licenciamento Orçamento (se não foi obtido na fase anterior)
PROJECTO DE EXECUÇÃO (DESENVOLVIMENTO)	Pormenores de fabrico Pormenores das especialidades <b>Pormenores de durabilidade</b> Cadernos de encargos tipo Critérios de durabilidade Critérios de integridade construtiva Critérios de manutenção	Integração dos desenhos de fabrico (estrutura) Pormenores de Engenharia Pormenores de fabrico <b>Definição de pormenores para a durabilidade</b> Pormenores de Arquitectura	<b>Projecto de comunicação à obra</b> <b>Plano de manutenção</b>

<sup>295</sup> No âmbito de um processo de apoio à decisão a estruturação do problema consiste em: caracterização do contexto da decisão, definição de critérios de avaliação, definição do descritor de impactes em cada critério, determinação de coeficientes de ponderação.

<sup>296</sup> No âmbito de um processo de apoio à decisão a apreciação dos impactes das soluções consiste na avaliação parcial das soluções e no cálculo do valor global de cada solução.

Dada a importância das fases iniciais do projecto e uma vez que o trabalho de concepção pode ser partilhado com a empresa fabricante, considera-se que o panorama da distribuição dos pesos dos trabalhos das fases de projecto, tal como são entendidos tradicionalmente, talvez tenha que ser alterado não só do ponto de vista da programação, mas também nos aspectos que se referem aos honorários e à mobilização de recursos da equipa projectista. Nas “Instruções para a elaboração de projectos de obras” (Portugal, 2008b) prevê-se uma distribuição do peso de cada fase que penaliza precisamente as duas primeiras fases (Tabela 74). As fases de programa base e estudo prévio contabilizam no conjunto 30% do peso enquanto as fases de anteprojecto e projecto de execução 55%.

Adoptando o método de projecto de “Arquitectura como serviço qualificado”, baseado em tipologias arquitectónicas, coordenado pelo Arquitecto com o envolvimento das empresas de fabrico e construção de casas de madeira, as percentagens estabelecidas deveriam ser sujeitos a uma revisão. Mesmo não respeitando a disposição das referidas instruções que preconizam que qualquer alteração nos pesos, não deve atribuir uma percentagem acumulada superior a 50% no programa base, estudo prévio e anteprojecto propõe-se, como sugestão, a alteração do peso do estudo prévio de 20% para 30%, reduzindo-se o anteprojecto de 20% para 15% e reduzindo o peso do projecto de execução de 35% para 30% (cf. Tabela 74). Será no entanto evidente que se o trabalho do fabricante no projecto de execução for contabilizado, os pesos das fases voltarão a ser reequilibrados.

Outro aspecto que deverá ser revisto, caso a caso, refere-se ao valor global dos honorários que deverá ter em conta que os trabalhos de projecto, para além da sua concentração nas duas fases já referidas, conta com uma redução parcial do trabalho nas fases de Anteprojecto (Projecto base) e de Projecto de execução. A fase de Anteprojecto consistirá fundamentalmente num aumento de escala dos desenhos técnicos uma vez que se propõe concentrar no estudo prévio a maior parte das definições essenciais. Quanto à fase de projecto de execução, a colaboração da empresa de fabrico alivia grande parte do trabalho de execução das especialidades (principalmente da estrutura) e do trabalho de integração e pesquisa de informação.

Tabela 74 - Pesos relativos das fases de projecto (para efeito de cálculo de honorários)

Fases de projecto	Peso das fases de projecto em percentagem segundo as instruções para a elaboração de projectos de obras (Portugal, 2008b)	Peso das fases de projecto em percentagem para o método proposto Arquitectura como serviço personalizado
Programa base	10	10
Estudo prévio	20	30
Anteprojecto <sup>297</sup>	20	15
Projecto de execução	35	30
Assistência técnica	15	15

Nos capítulos seguintes desenvolvem-se os aspectos específicos do método, a considerar ao nível do programa base e do estudo prévio, integrando os condicionantes singulares da construção em madeira.

<sup>297</sup> Constituído por: projecto de arquitectura; projecto de estabilidade; projecto de abastecimento de água; projecto de drenagem de águas residuais; projecto de drenagem de águas pluviais; projecto de infraestruturas de telecomunicações; projecto de instalações electromecânicas; projecto de rede de gás; projecto eléctrico (ficha electrotécnica); plano de segurança (projecto, obra); projecto de arranjos exteriores.

## **6.2 DEFINIÇÃO DO PROGRAMA**

A proposta de método de apoio ao projecto de Arquitectura consiste em integrar no processo normal de projecto, procedimentos especialmente adequados à construção de habitações unifamiliares com estruturas de madeira. Porém uma grande parte dos procedimentos são genéricos e aplicáveis a qualquer tecnologia, não sendo por isso aprofundados.

Os procedimentos propostos são apoiados por tabelas de recolha de informação (listas, inquéritos), tabelas de apoio à selecção e decisão (orientadoras), tabelas de critérios de projecto e finalmente tabelas de estratégias (de economia e durabilidade). Para o programa preliminar e para o programa base propõem-se os seguintes procedimentos:

### **Programa Preliminar**

- Listagem de dados do contexto (Tabela 75)
- Listagem de dados do cliente (Tabela 76)
- Definição das prioridades do cliente nos critérios de definição da solução (Nesta fase deverão ser também definidos preliminarmente os pesos dos critérios de decisão que permitem clarificar o contexto das decisões das fases seguintes (cf. Tabela 77).

### **Programa base**

- Escolha das características para definição do tipo funcional (Tabela 79)
- Escolha das características para definição do tipo espacial (Tabela 80)
- Definição do limite orçamental (Tabela 82)
- Análise comparativa de preços e sistemas construtivos (Tabela 84)
- Factores indicativos para a decisão na escolha do tipo simbólico (Tabela 85)
- Listagem de tipos simbólicos e modelos referenciais (Tabela 86)
- Factores indicativos para a decisão da escolha do tipo estrutural (Tabela 87)
- Factores indicativos relacionando tipos estruturais e tipos simbólicos (Tabela 88)
- Apoio à decisão do tipo estrutural ou dos tipos estruturais (Tabela 89)
- Listagem das opções de projecto mais comuns (tipo de solução, tipo de componentes):
  - Reticulados leves (Tabela 90)
  - Porticados (Tabela 91)
  - Paredes pesadas de toros (Tabela 92)
  - Painéis de madeira lamelada colada (Tabela 93)

### 6.2.1 DEFINIÇÃO DO PROGRAMA PRELIMINAR

O programa preliminar consiste principalmente na recolha e ordenação de um conjunto de informações que devem ser fornecidas, na sua maior parte, pelo cliente. Distinguem-se nesta fase os dados gerais do contexto (Tabela 75) e os dados do cliente (Tabela 76).

Tabela 75 - Lista de dados do contexto a reunir, fornecidos pelo cliente com orientação do projectista.

#### Lista de dados do Contexto

<b>Lote</b>	Dimensões
	Tipo de acessos
<b>Clima</b>	Dados do clima (neve, precipitação, temperatura, humidade)
	Ventos dominantes
	Barreiras naturais existentes ou possibilidade de as construir
	Verificação dos quadrantes mais expostos através das construções vizinhas
<b>Ruído</b>	Fontes de ruído
<b>Agentes biológicos</b>	Verificação da presença de madeira atacada nas imediações
	Verificação da durabilidade de elementos de madeira nas construções vizinhas
<b>Geologia</b>	Determinação do tipo de solo
<b>Topografia</b>	Levantamento do terreno
	Análise do esquema de drenagem do terreno
<b>Cultura</b>	Determinar os tipos arquitectónicos dominantes, ou soluções vernaculares relevantes
<b>Vizinhança</b>	Determinar se existe uma vizinhança integrada e coerente a respeitar ou a tomar como referência
	Verificar o sistema de vistas (necessidade de privacidade ou abertura ao exterior)
	Procurar casas de madeira na vizinhança e analisar o seu estado de conservação
<b>Vizinhança paisagística</b>	Determinar o tipo de paisagem do contexto <sup>298</sup>
<b>Projectistas</b>	Projectos anteriores
	Projectos de referência (modelos que representem os tipos preferenciais do cliente)
<b>Empresas</b>	Levantamento de empresas a considerar
	Análise do perfil das empresas (concepção, fabrico, construção)
	Análise das soluções das empresas (catálogos, portfólios, lista de obras)
<b>Regulamentos gerais</b>	Regulamentos nacionais e Europeus relevantes
<b>Regulamentos locais</b>	PDM, Plano de urbanização, Regulamento Municipal, etc.
<b>Regulamentos</b>	Uso, Conforto, Segurança, Ambiente, Durabilidade, Normas, Sistemas voluntários

Tabela 76 - Lista de dados do cliente.

#### Lista de dados do cliente

<b>Dimensão da família</b>	Listagem dos compartimentos e espaços necessários
	Previsão de alterações de uso do espaço a curto prazo ou em ciclos curtos
	Previsão de alterações de uso do espaço a médio-longo prazo
	Evolução previsível da família
	Necessidade de ampliação futura
<b>Valores simbólicos</b>	Tipo de abordagem estética preferencial (contemporânea / tradicional)
	Modelos (soluções) preferenciais apresentados pelo cliente

<sup>298</sup> Determinar se a paisagem direcciona para tipologias de madeira específicas (mais adequadas a zonas urbanas, ou zonas rurais, zonas de montanha, litoral, ou floresta).

#### Lista de dados do cliente (continuação)

Valores de uso	Relação entre espaços interiores (formais/ informais, compartimentados/abertos)
	Relação com o exterior (abertura ou fechamento da envolvente)
Manutenção	Aceitação de programas de manutenção periódicos regulares
	Predisposição do próprio cliente para efectuar pequenas obras de manutenção
Orçamento	Disponibilidade orçamental - Preço final
Custos de manutenção	Disponibilidade orçamental - Custos de manutenção anual
Valores ambientais	Importância dos critérios ambientais em relação a outros critérios
Prazos	Definição de um prazo de construção limite
Personalização	Nível de personalização desejada

Neste fase deverão ser também definidos os pesos dos critérios de decisão que permitem clarificar o contexto das decisões das fases seguintes (cf. Tabela 77).

Tabela 77 - Tabela de prioridades.

#### Prioridade dos critérios de decisão

Crítérios	Descrição / Objectivos	Ordenação
PREÇO	Definição de um valor máximo absoluto. Definição de um nível de qualidade com base num valor de Euros/m2.	
ARQUITECTURA	Definição de uma solução arquitectónica de acordo com as preferências do cliente e com a solução proposta pelo Arquitecto.	
DURABILIDADE	Definição de uma solução formal e estrutural com base em preocupações e exigências de durabilidade para além das regulamentares.	
COMPORTAMENTO	Definição de soluções técnicas que melhorem o comportamento da construção em relação às várias exigências regulamentares.	
PRAZO	Estabelecimento de um prazo específico.	
AMBIENTE	Definição de soluções ambientais, com impacto positivo no ambiente global.	

## 6.2.2 DEFINIÇÃO DO PROGRAMA BASE

### 6.2.2.1 TIPO FUNCIONAL

Ao nível do programa base, o tipo funcional é obtido através da recolha das necessidades do cliente em termos da definição e área dos compartimentos, número de quartos, número de pisos, e das características geométricas e de orientação dos compartimentos no lote (cf. Tabela 78). Estas definições podem ser sintetizadas num esquema tipológico (tipo funcional) que reúne todas as informações necessárias a uma definição espacial do projecto.

Tabela 78 - Características para definição do tipo funcional.

Características para definição do Tipo Funcional	Descrição
Número de quartos	
Número de pisos	
Definição e área dos compartimentos (nível de qualidade)	
Geometria, posição e orientação dos compartimentos	
Esquema do Tipo funcional	

O tipo funcional resultante poderá enquadrar-se em qualquer um dos tipos determinados anteriormente: 1) Tipos pequenos (térreos); 2) Tipos médios (térreos, térreos com cave, de andar e de andar com cave); 3) Tipos grandes (térreos, térreos com cave, de andar e de andar com cave). Com base no esquema funcional deve ser atribuída uma área de referência previsível (cf. Tabela 79).

Tabela 79 - Síntese do tipo funcional (possibilidades).

Tipo Funcional definido	Área bruta do tipo funcional (m2)
	Valor de referência x €/m2
Tipos pequenos (térreo)	
Tipos médios (térreo, térreo c/ cave, de andar, de andar c/ cave)	
Tipos grandes (térreo, térreo c/ cave, de andar, de andar c/ cave)	

Com base no programa de áreas e num preço médio de referência de custo de uma habitação unifamiliar, pode ser obtida uma primeira estimativa para o preço global da obra.

#### 6.2.2.2 TIPO ESPACIAL

O tipo espacial é definido com base nas definições funcionais assumidas anteriormente. A geometria da planta, as características geométricas do perímetro, a volumetria, a fachada, o contacto da construção com o terreno, a implantação no lote, o tipo de compartimentação interior, a mobilidade da compartimentação (cf. Tabela 80).

Tabela 80 - Características para definição do tipo espacial.

Características para determinação do Tipo Espacial	Esquemas / Descrições
Geometria da planta	
Geometria do perímetro	
Volumetria	
Fachada	
Contacto da construção com o terreno	
Implantação no lote	
Tipo de compartimentação interior	
Mobilidade da compartimentação	
Esquema do tipo espacial	

Em função do grau da maior ou menor complexidade da solução escolhida, o tipo espacial será simples, intermédio ou complexo (cf. Tabela 81). O tipo espacial resultante pode ser sintetizado também num esquema tipológico desenhado.

Tabela 81 - Síntese do tipo espacial.

Síntese do Tipo Espacial	Esquemas / Descrições
Tipos simples	
Tipos intermédios	
Tipos complexos	

#### 6.2.2.3 ANÁLISE PRELIMINAR DE CUSTOS

Com base no preço de referência obtido quando se definiu o tipo funcional e com base nas definições espaciais, deve ser realizada uma primeira análise dos custos previsíveis. O preço de referência (ou intervalo de valores) terá permitido ao cliente verificar a compatibilidade com o orçamento disponível (cf. Tabela 82). Se se verificar que o cliente tem uma margem de segurança muito curta, poderá tentar efectuar-se a revisão tanto do tipo funcional como do tipo espacial. Os tipos funcionais térreos e sem cave, para um programa semelhante serão obviamente mais económicos que as soluções com cave e com mais de um piso. Ao nível da definição do programa podem também ser revistos os níveis de qualidade que permitem uma redução de áreas dentro de determinados parâmetros de qualidade (cf. Tabela 83).

Tabela 82 - Determinação do limite orçamental.

<b>Limite orçamental</b>	
Valor de referência obtido	Ref. €/m <sup>2</sup>
Valor disponível	...€
Área do tipo funcional	...m <sup>2</sup>
Valor custo/m <sup>2</sup> disponível	...€/m <sup>2</sup>

Tabela 83 - Determinação das áreas necessárias por nível de qualidade (Pedro, 2003) para eventual revisão.

<b>Níveis de qualidade potenciais</b>	
Mínimo	(... m <sup>2</sup> ) - Valores do RGEU
Recomendável	(... m <sup>2</sup> )
Ótimo	(... m <sup>2</sup> )

As definições do tipo espacial poderão também ser ajustadas para baixar os preços da construção. É óbvio que quanto maior for a complexidade da solução, maior será o custo final da obra. Com soluções mais complexas deixam de poder ser utilizados os componentes normalizados, ocorrem mais juntas e ligações, e o projecto de estruturas e de Arquitectura tornam-se mais trabalhosos. Haverá portanto que adequar a complexidade da solução ao orçamento pré-definido. Se o cliente apresenta constrangimentos orçamentais, deve efectuar-se uma revisão do tipo espacial apontando-se para que os tipos definidos sejam simples ou pelo menos intermédios.

A determinação dos custos de uma habitação unifamiliar em madeira está dependente não só do tipo estrutural mas também das características da envolvente construída, do tipo de vãos, dos acabamentos e dos equipamentos escolhidos. Como referência as empresas de casas de madeira oferecem em regra preços definidos em função das soluções tipo que apresentam nos seus catálogos. Por norma, para moradias, pode considerar-se que os reticulados leves serão comparativamente a solução mais económica, seguidos dos toros, depois os porticados e finalmente os painéis CLT<sup>299</sup>. Mas cada empresa terá condições de fabrico e de construção diferentes pelo que esta ordenação pode variar.

Será então necessário recolher, valores que normalmente estão disponíveis na internet, ou que com mais segurança podem ser obtidos através de contacto directo. Esta lista poderá ser importante também para eventualmente excluir alguns tipos estruturais do universo das opções potenciais (cf. Tabela 84).

Tabela 84 - Exemplo de tabela de ordenação do tipo estrutural segundo o critério económico.

<b>Sistemas da empresa X</b>	<b>Intervalo de preços de referência x€/m<sup>2</sup></b>
Reticulados leves	
Porticados	
Paredes pesadas de toros	
Painéis pesados CLT	
Paredes leves de pranchas	

<sup>299</sup> Nos EUA e Canadá, em geral, os preços dos reticulados leves são mais baixos que os dos porticados e estes por sua vez são mais baixos ainda que os dos toros. Os painéis CLT ainda não estão muito difundidos na habitação unifamiliar e a sua aplicação nesta tipologia deverá dirigir-se para soluções de um nível de qualidade superior.



#### 6.2.2.4 TIPO SIMBÓLICO

A definição do tipo simbólico é efectuada normalmente recorrendo ao apoio de obras de referências que os clientes e os Arquitectos seleccionam principalmente em função dos seus juízos estéticos. Um método eficaz de enquadrar o processo de escolha do cliente apoiado pelo Arquitecto consiste em elaborar uma lista de apoio à escolha do tipo simbólico, na forma de catálogo, (Tabela 86) com base no quadro tipológico definido no capítulo 2.2 (Sistemas formais). Mas uma escolha consciente deve integrar também, de forma ponderada, vários critérios como a integração na envolvente, a adequação a eventuais regulamentos que limitem as escolhas, o nível de abertura para o exterior, e a durabilidade da obra. Na Tabela 85 expõem-se alguns dos aspectos a ter em conta na escolha do tipo simbólico.

Tabela 85 - Tabela de apoio à decisão de escolha do tipo simbólico.

<i>Tabela de apoio à selecção do tipo simbólico</i>		Contemporâneo introvertido		Contemporâneo extrovertido		Moderno introvertido		Moderno extrovertido		Tradicional introvertido		Tradicional extrovertido	
Se:	Selecione-se tipos:	Urbano	Rústico	Urbano	Rústico	Urbano	Rústico	Urbano	Rústico	Urbano	Rústico	Urbano	Rústico
A vizinhança edificada é coerentemente marcada por tipos de alvenaria	Que permitam revestimentos rebocados ou com madeira pintada	●	X	●	X	●	X	●	X	●	X	●	X
O ambiente é rural	Com revestimentos e estrutura em madeira à vista		●		●		●		●		●		●
O ambiente é urbano	Com revestimentos rebocados ou pintados	●		●		●		●		●		●	
Os regulamentos locais exigem integração	Com revestimentos / estruturas no exterior rebocados ou pintados		X		X		X		X		X		X
Preferências do cliente por formas e ambientes contemporâneos	Escolher tipos de características contemporâneas ou modernas	●		●		●		●					
Preferências do cliente por formas e ambientes tradicionalistas	Escolher tipos de características tradicionais									●	●	●	●
Se pretende grande abertura para o exterior	Escolher tipos extrovertidos			●	●			●	●			●	●
Se pretende acentuar os valores de privacidade	Escolher tipos introvertidos	●	●			●	●			●	●		
Perfil do cliente é adverso à gestão de acções de manutenção	Evitar tipos com revestimentos de madeira		X		X		X		X		X		X
Orçamento limitado	Evitar tipos contemporâneos e modernos e extrovertidos	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
Pretende um projecto mais durável	Os tipos tradicionais são em geral mais duráveis que os modernos e contemporâneos									●	●	●	●

Legenda: (●) especialmente recomendado; (X) não recomendado; ( ) neutro.

A elaboração de um catálogo ou de uma lista de apoio à escolha do tipo simbólico (Tabela 86) é um procedimento que pode ser efectuada pelo arquitecto para que numa primeira abordagem se possa sintetizar a maior parte das possibilidades tipológicas do ponto de vista das soluções estéticas.

A lista será tanto mais eficaz quanto mais níveis de informação abranger. Pode por exemplo ser acrescentada informação técnica adicional, associando-se a cada tipo simbólico a diversidade dos tipos estruturais aplicáveis.

Tabela 86 - Catálogo tipológico ilustrado para apoio à escolha do tipo simbólico (exemplo).

Lista de modelos para apoio à escolha do tipo simbólico			
Tipo simbólico	Características	Soluções Exterior	Soluções Interior
Tipo contemporâneo introvertido urbano	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos controlados</i> <i>Revestimentos pintados ou alternativos</i>		
Tipo contemporâneo introvertido rústico	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos controlados</i> <i>Revestimentos de madeira à vista</i>		
Tipo contemporâneo extrovertido urbano	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos amplos</i> <i>Revestimentos pintados ou alternativos</i>		
Tipo contemporâneo extrovertido rústico	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos amplos</i> <i>Revestimentos de madeira à vista</i>		
Tipo moderno introvertido urbano	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos controlados</i> <i>Revestimentos pintados ou alternativos</i>		
Tipo moderno introvertido rústico	<i>Cobertura plana</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos controlados</i> <i>Revestimentos de madeira à vista</i>		
Tipo moderno extrovertido urbano	<i>Cobertura plana</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos amplos</i> <i>Revestimentos pintados ou alternativos</i>		
Tipo moderno extrovertido rústico	<i>Cobertura plana</i> <i>Detalhes abstractos/ simples</i> <i>Fachada com vãos amplos</i> <i>Revestimentos de madeira à vista</i>		
Tipo tradicional introvertido urbano	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes elaborados/ complexos</i> <i>Fachada com vãos controlados</i> <i>Revestimentos pintados ou alternativos</i>		
Tipo tradicional introvertido rústico	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes elaborados/ complexos</i> <i>Fachada com vãos controlados</i> <i>Revestimentos de madeira à vista</i>		
Tipo tradicional extrovertido urbano	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes elaborados/ complexos</i> <i>Fachada com vãos amplos</i> <i>Revestimentos pintados ou alternativos</i>		
Tipo tradicional extrovertido rústico	<i>Cobertura inclinada</i> <i>Detalhes elaborados/ complexos</i> <i>Fachada com vãos amplos</i> <i>Revestimentos de madeira à vista</i>		

Nota: Para verificação das imagens e respectivas fontes, consultar os anexos (Volume 2 da Tese).

### 6.2.2.5 TIPO ESTRUTURAL

A escolha do tipo estrutural pode ser influenciada por diversos factores relacionados com o contexto, com o processo de projecto e de construção e com as opções estéticas (cf. Tabela 87).

Tabela 87 - Tabela de apoio à selecção do tipo estrutural.

<b>Tabela de apoio à selecção do tipo estrutural</b>		Reitulados leves	Porticados pilar viga	Paredes pesadas de toros	Painéis pesados de lamelados cruzados
<b>Se:</b>	<i>Seleccionem-se sistemas:</i>				
<b>o acesso ao lote é especialmente difícil</b>	que não dependam de transporte por veículos de grandes dimensões	●	●	○	x
<b>o lote não permite estaleiro</b>	com elevado grau de pré-fabricação e construção por processo "platform"	○	○	○	●
<b>o clima exige massa térmica nos elementos construtivos</b>	com elevada quantidade de madeira nos componentes			●	●
<b>o terreno é pouco rígido (argilas moles, areia fofa, etc.)</b>	com componentes leves	●	○	○	○
<b>a topografia é acidentada</b>	sem elevados níveis de assentamento	○	○	x	●
<b>a vizinhança edificada é coerentemente marcada por tipos de alvenaria</b>	que permitam revestimentos exteriores rebocados	●	●	x	●
<b>as empresas disponíveis não têm experiência de construção em madeira</b>	que não sejam muito exigentes quanto à construção	●	x	x	○
<b>estão previstas modificações futuras da compartimentação</b>	que não dependam de painéis portantes		●		
<b>estão previstas ampliações futuras para o exterior</b>	cuja ligação com a construção existente sejam simples			x	●
<b>se pretende uma estética contemporânea</b>	cuja estrutura não imponha uma estética	●	●	x	●
<b>se pretende uma estética tradicional</b>	cuja estrutura seja parte da expressão arquitectónica		●	●	
<b>Não se pretende um programa de manutenção frequente</b>	cuja estrutura não seja aparente pelo exterior, ou que permitam revestimentos alternativos à madeira			x	
<b>O orçamento disponível é muito limitado</b>	sistemas económicos como o de reticulados leves	●			x
<b>Os valores ambientais são muito importantes</b>	sistemas com grande quantidade de madeira (sequestro de CO <sub>2</sub> ) e pré-fabricação			●	●
<b>O prazo de construção é importante</b>	com elevado grau de pré-fabricação				●
<b>Os projectistas são pouco experientes com madeira</b>	com regulamentação prescritiva	●			●
<b>O conforto do ar é importante</b>	com estrutura de madeira exposta no interior			●	●
<b>Há regulamentos que limitam estéticas da madeira no exterior</b>	que possibilitem revestimentos rebocados			x	●

Legenda: (●) especialmente recomendado; (○) recomendado; (x) não recomendado; ( ) neutro.

A escolha dos tipos estruturais pode ser muito condicionada pelos tipos simbólicos previamente definidos. Na análise que apoia esta escolha (cf. Tabela 88) as características mais importantes a ter em conta no primeiro nível tipológico do tipo simbólico (tipos contemporâneos, modernos e tradicionais) são os detalhes visíveis que adquirem características simplificadas nos casos dos tipos contemporâneos e modernos, e características mais elaboradas nos tipos tradicionais. Quanto aos subtipos "introvertidos" e "extrovertidos" são as características da envolvente que devem ser especialmente observadas. Relativamente aos subtipos "rústico" e "urbano" a característica mais importante a considerar é a forma como a madeira estrutural num dado sistema pode ser tornada visível.

Tabela 88 - Tabela de apoio à selecção do tipo estrutural com base nos tipos simbólicos preferenciais.

<b>Tabela de apoio à selecção do tipo estrutural com base nos tipos simbólicos preferenciais</b>		Reticulados leves	Porticados pilar viga	Paredes pesadas de toros	Painéis pesados de lamelados cruzados
<b>Se os tipos simbólicos preferenciais são:</b>	<i>Selecționem-se sistemas:</i>				
<b>Contemporâneos (detalhes)</b>	que permitam pormenores despojados, sendo pouco dependentes de retracção e assentamento da madeira	○	○	X	●
<b>Modernos (detalhes)</b>	que permitam pormenores despojados, sendo pouco dependentes de retracção e assentamento da madeira	○	○	X	●
<b>Tradicionais (detalhes)</b>	com a estrutura de madeira maciça à vista	○	○	●	○
<b>Introvertidos</b>	com estruturas em paredes ou painéis portantes	●	○	●	●
<b>Extrovertidos</b>	com estruturas de pilares	X	●	X	X
<b>Rústicos</b>	com estrutura de madeira à vista	○	○	●	○
<b>Urbanos</b>	com revestimentos alternativos à madeira	●	●	X	●

Legenda: (●) especialmente recomendado; (○) recomendado; (X) não recomendado.

Sendo o momento de selecção do tipo estrutural determinante para o processo de projecto, pode ser utilizada uma matriz de apoio à decisão contemplando critérios múltiplos, a cada um dos quais é atribuído um peso específico (cf. Tabela 89). No capítulo seguinte exemplifica-se como pode ser efectuada esta análise e avaliação recorrendo ao método MACBETH (“Measuring Attractiveness by Category Based Evaluation Technique” - Medição da atractividade por uma técnica de avaliação baseada em categorias) (Bana e Costa, De Corte, & Vansnick, M Macbeth, 2015). Esta metodologia é colocada em prática por um software que facilita a entrada de dados, e que permite obter automaticamente resultados, proporcionando também diversos instrumentos de análise. Através deste recurso é possível obter as pontuações para as opções em cada critério através de julgamentos qualitativos relativamente às diferenças de atractividade entre opções. Os procedimentos a seguir consistem em estruturar o problema definindo critérios e opções (que são as soluções estruturais/construtivas), e avaliar o problema com base na ponderação de todos os critérios obtendo-se assim uma ordenação e uma pontuação. Por fim é possível efectuar uma análise de resultados, seja através da análise das sensibilidades, seja através da análise da robustez de cada opção, ou mesmo da simulação de diferentes ponderações em cada critério.

Tabela 89 - Matriz genérica de apoio à avaliação e escolha preliminar do tipo ou dos tipos estruturais (exemplo).

<b>Matriz de apoio à selecção do tipo estrutural</b>		Reticulados leves		Porticados pilar viga		Painéis leves reticulados		Paredes pesadas de toros		Painéis pesados de lamelados cruzados	
<b>Crítérios eventuais a considerar</b>	<b>Peso</b>										
Adequação ao orçamento											
Adequação ao tipo funcional/ espacial											
Adequação ao tipo simbólico											
Potencial arquitectónico da madeira											
Durabilidade da solução											
Comportamento higrotérmico											
Estanquidade											
Ambiente											
Prazo de construção											
Pontuações totais											

### 6.2.2.6 OPÇÕES ESTRUTURAIS

Cada solução estrutural colocará à disposição do projectista diversas soluções e vários tipos de componentes que devem ser tidos em consideração no projecto. Dentro de cada solução estrutural as opções de projecto permitem um nível de adequação às exigências específicas de cada contexto. A noção destas opções, por parte do projectista, permite ampliar o leque de possibilidades das propostas arquitectónicas.

#### Reticulados leves

Tabela 90 - Opções gerais de projecto para reticulados leves.

RETICULADOS LEVES - OPÇÕES ESTRUTURAIS		
Elementos construtivo	Tipo de solução	Tipo de componentes
Paredes exteriores	<p>Paredes estruturais de montantes e travessas com isolamento térmico e painel estrutural.</p> <p>Paredes estruturais de montantes e travessas com painel estrutural e isolamento térmico adicional pelo exterior.</p> <p>Paredes estruturais de montantes e travessas com painel estrutural e isolamento térmico adicional pelo interior.</p> <p>Paredes estruturais de montantes e travessas com painel estrutural e isolamento térmico adicional pelo exterior e interior.</p> <p>Envolve com revestimentos de madeira, derivados ou alternativos sem caixa-de-ar.</p> <p>Envolve com revestimentos de madeira, derivados ou alternativos com caixa-de-ar.</p>	<p>Montantes e travessas de madeira maciça.</p> <p>Montantes e travessas, lamelados.</p> <p>Painel estrutural de OSB.</p> <p>Painel estrutural de contraplacado.</p> <p>Telas pára vapor e de estanquidade.</p> <p>Isolamentos térmicos.</p> <p>Revestimentos exteriores de madeira maciça.</p> <p>Revestimentos exteriores de derivados de madeira (cimento e fibras de madeira, contraplacado).</p> <p>Revestimentos exteriores de materiais alternativos (PVC, metálicos).</p> <p>Revestimentos interiores de régua ou painéis de madeira maciça ou derivados.</p> <p>Revestimentos interiores de painéis de gesso cartonado ou com fibras de madeira.</p>
Cobertura	<p>Estrutura de cobertura inclinada com vigotas de cobertura e vigotas de tecto e painel estrutural.</p> <p>Estrutura de cobertura inclinada com asnas.</p> <p>Estrutura de cobertura plana com vigotas sobre paredes estruturais intermédias.</p> <p>Estrutura de cobertura plana com vigas treliçadas.</p> <p>Envolve com o isolamento térmico sob os painéis de revestimento estrutural.</p> <p>Envolve com isolamento térmico sobre os painéis de revestimento estrutural.</p>	<p>Vigotas de madeira maciça.</p> <p>Vigotas de cobertura I-joist.</p> <p>Deck estrutural de madeira maciça.</p> <p>Painel estrutural de OSB.</p> <p>Painel estrutural de Contraplacado.</p> <p>Telas pára vapor e de estanquidade.</p> <p>Isolamentos térmicos.</p> <p>Revestimentos de madeira maciça (shingles, shakes).</p> <p>Revestimentos cerâmicos.</p> <p>Revestimentos metálicos.</p> <p>Revestimentos asfálticos (shingles).</p>
Pavimento térreo	<p>Pavimento de vigotas sobre paredes de fundação com espaço de serviço inferior.</p> <p>Pavimento de vigotas sobre paredes de cave em betão.</p> <p>Pavimento de vigotas sobre paredes de cave em reticulados leves.</p> <p>Pavimento de betão armado (ensoleiramento geral).</p>	<p>Vigotas de madeira maciça.</p> <p>Vigotas I-joist.</p> <p>Vigas de madeira maciça para apoio das Vigotas.</p> <p>Vigas compostas por mais que um componente de madeira maciça (lameladas pregadas ou aparafusadas), para suporte das vigotas.</p> <p>Vigas de derivados de madeira (LSL, PSL, LVL, Glulam) para suporte das vigotas.</p> <p>Vigas treliçadas (de madeira ou compostas) ("open web").</p> <p>Paredes de fundação para apoio das vigotas de pavimento.</p> <p>Painéis reticulados portantes para apoio das vigotas de pavimento.</p>

RETICULADOS LEVES - OPÇÕES ESTRUTURAIS (continuação)		
Elementos construtivo	Tipo de solução	Tipo de componentes
Pavimento térreo (continuação)		Revestimento estrutural de pavimento com régua de madeira maciça (deck). Revestimento estrutural de pavimento com painel OSB. Revestimento estrutural de pavimento com painel de contraplacado.
Pavimento intermédio	Pavimento de vigotas sobre paredes reticuladas portantes.	Vigotas de madeira maciça. Vigotas I-joist. Revestimento estrutural de pavimento com régua de madeira maciça (deck). Revestimento estrutural de pavimento com painel OSB. Revestimento estrutural de pavimento com painel de contraplacado.
Paredes interiores	Paredes de montantes e travessas com isolamento térmico e painel de revestimento não estrutural. Paredes estruturais de montantes e travessas com isolamento térmico e painel de revestimento estrutural.	Montantes e travessas de madeira maciça. Montantes e travessas de lamelados. Painel estrutural de OSB. Painel estrutural de Contraplacado. Painel de revestimento em gesso cartonado ou gesso com fibras de madeira.
Elementos adicionais	Situações com necessidade de obter vãos de maiores dimensões: Elementos estruturais de materiais alternativos. Elementos de pregagem e aparafusamento Elementos ligadores metálicos	Pilares e vigas lamelados pregados. Pilares e vigas de Glulam.
Sistemas semelhantes alternativos	<i>"Balloon frame"</i> <i>"Advanced framing techniques"</i> Painéis leves de reticulados (pré-fabricados)	
Manuais de apoio	"Canadian wood-frame house construction" (CMHC, 2013a) "Graphic guide to frame construction" (Thalon, 2009) "Timber frame construction" (TRADA, 2008) "The open timber construction system - Architectural design" (Viljakainen, 2003) "Habitat for humanity - How to build a house" (Haun, 2008) "Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal" (Almeida, 2010) "Sistemas constructivos a base de madeira aplicados a vivendas unifamiliares" (Peraza Sánchez, et al., 1995)	

## Porticados

Tabela 91 - Opções de projecto para porticados.

PORTICADOS - OPÇÕES ESTRUTURAIS		
Elementos construtivo	Tipo de solução	Tipo de componentes
Paredes exteriores	<p>Paredes de montantes e travessas com isolamento térmico e painel estrutural pelo exterior dos pilares.</p> <p>Paredes de montantes e travessas com isolamento térmico e painel estrutural entre pilares.</p> <p>(...) e isolamento térmico adicional pelo exterior.</p> <p>(...) e isolamento térmico adicional pelo interior.</p> <p>(...) e isolamento térmico adicional pelo exterior e interior.</p> <p>Paredes de painéis SIP pelo exterior dos pilares.</p> <p>Paredes de painéis SIP entre pilares exteriores.</p> <p>Envoltente com revestimentos de madeira, derivados, reboco ou alternativos sem caixa-de-ar.</p> <p>Envoltente com revestimentos de madeira, derivados ou alternativos com caixa-de-ar.</p>	<p>Montantes e travessas de madeira maciça.</p> <p>Montantes e travessas de lamelados.</p> <p>Painel estrutural de OSB.</p> <p>Painel estrutural de Contraplacado.</p> <p>Painel estrutural SIP.</p> <p>Telas pára vapor e de estanquidade.</p> <p>Isolamentos térmicos.</p> <p>Revestimentos exteriores de madeira maciça.</p> <p>Revestimentos exteriores de derivados de madeira (cimento e fibras de madeira, contraplacado).</p> <p>Revestimentos exteriores de materiais alternativos (PVC, metálicos).</p> <p>Revestimentos interiores de régua ou painéis de madeira maciça ou derivados.</p> <p>Revestimentos interiores de painéis de gesso cartonado ou com fibras de madeira.</p>
Cobertura	<p>Cobertura inclinada com asnas.</p> <p>Cobertura inclinada com vigas principais paralelas (longitudinais) à cumeeira e vigas secundárias sobre elas.</p> <p>Cobertura inclinada com vigas principais perpendiculares à cumeeira e vigas secundárias sobre elas.</p> <p>(...), alternativa com a face superior das vigas principais e secundárias alinhadas.</p> <p>Estrutura de cobertura plana com vigas secundárias sobre vigas principais ou com o topo alinhado pelas vigas principais.</p> <p>Envoltente com o isolamento térmico sob os painéis de revestimento estrutural.</p> <p>Envoltente com isolamento térmico sobre os painéis de revestimento estrutural.</p> <p>Envoltente com painéis SIP.</p>	<p>Vigas e vigotas de madeira maciça.</p> <p>Vigas e vigotas de lamelados colados.</p> <p>Vigas e vigotas de derivados de madeira (Glulam, LSL, PSL, LVL,).</p> <p>Deck estrutural de madeira maciça.</p> <p>Painel estrutural de OSB.</p> <p>Painel estrutural de Contraplacado.</p> <p>Telas pára vapor e de estanquidade.</p> <p>Isolamentos térmicos.</p> <p>Painéis SIP.</p> <p>Revestimentos de madeira maciça (<i>shingles, shakes</i>).</p> <p>Revestimentos cerâmicos.</p> <p>Revestimentos metálicos.</p> <p>Revestimentos asfálticos (<i>shingles</i>)</p> <p>Revestimentos cerâmicos.</p>
Pavimento térreo	<p>Pavimento de vigotas leves sobre paredes de fundação com espaço de serviço inferior.</p> <p>Pavimento de vigas sobre pilares ou sobre paredes de cave.</p> <p>Pavimento de vigotas sobre paredes de cave.</p> <p>Pavimento de betão armado (ensoleiramento geral).</p> <p>Pavimento em painéis SIP sobre cave.</p> <p>Pavimento em painéis pré-fabricados sobre cave ou sobre espaço de serviço inferior.</p>	<p>Vigas principais e secundárias e vigotas de madeira maciça.</p> <p>Vigotas I-joist.</p> <p>Vigas de madeira maciça para apoio das vigotas.</p> <p>Vigas compostas por mais que um componente de madeira maciça (lameladas pregadas ou aparafusadas), para suporte das vigas secundárias ou vigotas.</p> <p>Vigas de derivados de madeira (Glulam, LSL, PSL, LVL) para suporte das vigas secundárias ou vigotas.</p>



**PORTICADOS - OPÇÕES ESTRUTURAIS** (continuação)

Elementos construtivo	Tipo de solução	Tipo de componentes
Pavimento térreo (continuação)		Revestimento estrutural de pavimento com régua de madeira maciça (deck). Revestimento estrutural de pavimento com painel OSB. Revestimento estrutural de pavimento com painel de contraplacado. Painéis SIP de pavimento. Painéis pré-fabricados de pavimento.
Pavimento intermédio	Pavimento de vigas secundárias apoiadas sobre vigas principais. Pavimento de vigas secundárias com o topo alinhado com as vigas principais. Pavimentos em Painéis SIP sobre as vigas principais. Pavimentos prefabricados sobre vigas principais	Vigas e vigotas de madeira maciça. Vigas de derivados de madeira (Glulam, LSL, PSL, LVL) para suporte das vigas secundárias ou vigotas. Revestimento estrutural de pavimento com régua de madeira maciça (deck). Revestimento estrutural de pavimento com painel OSB. Revestimento estrutural de pavimento com painel de contraplacado. Painéis SIP. Painéis pré-fabricados.
Paredes interiores	Paredes de montantes e travessas de madeira com ou sem isolamento térmico e painel de revestimento. Paredes de montantes e travessas de aço leve com ou sem isolamento térmico e painel de revestimento em gesso cartonado ou com fibras. Paredes de alvenaria.	Montantes e travessas de madeira maciça. Montantes e travessas de lamelados. Montantes e travessas de aço leve. Painel estrutural de OSB. Painel estrutural de Contraplacado. Painel de revestimento em gesso cartonado ou gesso com fibras de madeira. Blocos de alvenaria.
Elementos adicionais	Situações com necessidade de obter vãos de maiores dimensões: Elementos estruturais de materiais alternativos. Elementos de pregagem e aparafusamento. Elementos ligadores metálicos.	
Sistemas semelhantes alternativos	Sistema “ <i>timber frame</i> ” tradicional. Sistema “plank and beam”. Sistema porticado tradicional em madeira de Carvalho.	
Manuais de apoio	“Timber framing for the rest of us” (Roy, 2004) “Systems in timber engineering” (Kolb, 2008) Technologies de construction bois (Bignon & Critt-Crai, 2003) “Heavy timber construction” (AWC, 2003) “Construction de maisons à ossature bois” (Benoit & Paradis, 2008) “The timber frame home - Design, construction, finishing” (Benson, 1977) “Timber frame construction - All about post-and-beam building” (Sobon & Schroeder, 1984) “Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5” (TRADA; IStructE, 2007) “Out of the woods - Ecological Design for timber frame housing” (Borer & Harris, 2001) “Casas de madeira - Sistemas constructivos a base de madeira aplicados a vivendas unifamiliares” (Peraza Sánchez, et al., 1995)	

## Paredes pesadas de toros

Tabela 92 - Opções de projecto para paredes pesadas de toros.

PAREDES PESADAS DE TOROS - OPÇÕES ESTRUTURAIS		
Elementos construtivo	Tipo de solução	Tipo de componentes
Paredes exteriores	Paredes de toros simples. Paredes de toros com isolamento térmico pelo interior. Paredes de toros com isolamento térmico pelo exterior. Paredes de toros duplas.	Toros maciços. Toros lamelados. Toros de secção circular, rectangular, três arestas planas, e outras. Toros com ligações de canto à face ou salientes, em cauda de andorinha, em sela simples ou dupla e variantes.
Cobertura	BASE DE RETICULADOS Estrutura de cobertura inclinada com vigotas de cobertura e vigotas de tecto e painel estrutural. Estrutura de cobertura inclinada com asnas. Estrutura de cobertura plana com vigotas sobre paredes estruturais intermédias. Estrutura de cobertura plana com vigas treliçadas. Envolvente com o isolamento térmico sob os painéis de revestimento estrutural. Envolvente com isolamento térmico sobre os painéis de revestimento estrutural. BASE DE PORTICADOS Cobertura inclinada com vigas principais paralelas (longitudinais) à cumeeira e vigas secundárias sobre elas. Cobertura inclinada com vigas principais perpendiculares à cumeeira e vigas secundárias sobre elas. (...), alternativa com os topos das vigas principais e secundárias alinhadas. Estrutura de cobertura plana com vigas secundárias sobre vigas principais ou com o topo alinhado pelas vigas principais. Envolvente com o isolamento térmico sob os painéis de revestimento estrutural. Envolvente com isolamento térmico sobre os painéis de revestimento estrutural.	BASE DE RETICULADOS Vigotas de madeira maciça. Vigotas de cobertura I-joist. Deck estrutural de madeira maciça. Painel estrutural de OSB. Painel estrutural de Contraplacado. Telas pára vapor e de estanquidade. Isolamentos térmicos. Revestimentos de madeira maciça (shingles, shakes). Revestimentos cerâmicos. Revestimentos metálicos. Revestimentos asfálticos (shingles). BASE DE PORTICADOS Vigas e vigotas de madeira maciça. Vigas e vigotas de lamelados colados. Vigas e vigotas de derivados de madeira (Glulam, LSL, PSL, LVL.).
Pavimento térreo	BASE DE RETICULADOS Pavimento de vigotas sobre paredes de fundação com espaço de serviço inferior. Pavimento de vigotas sobre paredes de cave em betão. Pavimento de vigotas sobre paredes de cave em reticulados leves. Pavimento de betão armado (ensoleiramento geral). BASE DE PORTICADOS Pavimento de vigas sobre pilares ou sobre paredes de cave. Pavimento em painéis pré-fabricados sobre cave ou sobre espaço de serviço inferior.	BASE DE RETICULADOS Vigotas de madeira maciça. Vigotas I-joist. Vigas de madeira maciça para apoio das Vigotas. Vigas compostas por mais que um componente de madeira maciça (lameladas pregadas ou aparafusadas), para suporte das vigotas. Vigas de derivados de madeira (LSL, PSL, LVL, Glulam) para suporte das vigotas. Vigas treliçadas (de madeira ou compostas) ("open web"). Paredes de fundação para apoio das vigotas de pavimento. Painéis reticulados portantes para apoio das vigotas de pavimento.

**PAREDES PESADAS DE TOROS - OPÇÕES ESTRUTURAIS** (continuação)

Elementos construtivo	Elementos construtivo	Elementos construtivo
Pavimento térreo (continuação)		Revestimento estrutural de pavimento com régua de madeira maciça (deck). Revestimento estrutural de pavimento com painel OSB. Revestimento estrutural de pavimento com painel de contraplacado. BASE DE PORTICADOS Vigas principais e secundárias de madeira maciça. Painéis pré-fabricados de pavimento.
Pavimento intermédio	BASE DE RETICULADOS Pavimento de vigotas sobre paredes reticuladas portantes. BASE DE PORTICADOS Pavimento de vigotas leves sobre paredes de fundação com espaço de serviço inferior. Pavimento de vigas sobre pilares ou sobre paredes de cave. Pavimento de vigotas sobre paredes de cave. Pavimento de betão armado (ensoleiramento geral). Pavimento em painéis SIP sobre cave. Pavimento em painéis pré-fabricados sobre cave ou sobre espaço de serviço inferior.	BASE DE RETICULADOS Vigotas de madeira maciça. Vigotas I-joist. Revestimento estrutural de pavimento com régua de madeira maciça (deck). Revestimento estrutural de pavimento com painel OSB. Revestimento estrutural de pavimento com painel de contraplacado. BASE DE PORTICADOS Vigas de madeira maciça para apoio das vigotas. Vigas compostas por mais que um componente de madeira maciça (lameladas pregadas ou aparafusadas), para suporte das vigas secundárias ou vigotas. Vigas de derivados de madeira (Glulam, LSL, PSL, LVL) para suporte das vigas secundárias ou vigotas. Painéis pré-fabricados de pavimento.
Paredes interiores	Paredes de toros simples. Paredes de montantes e travessas de madeira com ou sem isolamento térmico e painel de revestimento. Paredes de montantes e travessas de aço leve com ou sem isolamento térmico e painel de revestimento em gesso cartonado ou com fibras.	Toros maciços. Toros lamelados. Toros de secção circular, rectangular, três arestas planas, e outras. Montantes e travessas de madeira maciça. Montantes e travessas de lamelados. Painel estrutural de OSB. Painel estrutural de Contraplacado. Painel de revestimento em gesso cartonado ou gesso com fibras de madeira.
Elementos adicionais	Situações com necessidade de obter vãos de maiores dimensões. Elementos estruturais de materiais alternativos. Elementos ligadores metálicos.	Pilares e vigas de Glulam.
Sistemas semelhantes alternativos	Sistema integral em toros redondos (com cobertura e pavimento em toros). Sistema de paredes leves de pranchas e pilares.	
Manuais de apoio	"Documento de homologação - Rusticasa sistema de construção industrializada DH 915. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil" (LNEC, 2012) "Construction manual - Honka" (Honka, 2015) "Systems in timber engineering" (Kolb, Systems in timber engineering, 2009) "Technologies de construction bois" (Bignon & Critt-Crai, 2003) "Construction de maisons à ossature bois" (Benoit & Paradis, 2008) "Casas de madera - Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares" (Peraza Sánchez, et al., 1995)	

## Painéis de madeira lamelada cruzada colada

Tabela 93 - Opções de projecto para painéis pesados de lamelados colados cruzados - CLT.

PAINÉIS DE MADEIRA LAMELADA COLADA - OPÇÕES ESTRUTURAIS		
Elementos construtivo	Tipo de solução	Tipo de componentes
Paredes exteriores	Painéis CLT com isolamento exterior e acabamento rebocado. Painéis CLT com isolamento exterior e acabamento em régua de madeira com caixa-de-ar.	Painéis CLT com lamelas da face verticais. Isolamento térmico. Telas pára vapor e de estanquidade. Revestimentos de reboco (Sistema ETICS). Revestimentos em régua de madeira. Revestimentos alternativos.
Cobertura	Painéis CLT com isolamento exterior. Estrutura de caibros sobre painéis CLT. Todas as estruturas de madeira alternativas: BASE RETICULADOS BASE PORTICADOS	Painéis CLT. Vigas de madeira maciça ou de derivados de madeira. Isolamento térmico. Telas (pára-vapor e estanques).
Pavimento térreo	Laje sobre cave. Laje aligeirada sobre cave. Painéis CLT sobre cave. Laje aligeirada sobre fundações. Laje sobre o solo (ensoleiramento geral).	Painéis CLT Vigotas. Abobadilhas Betão armado.
Pavimento intermédio	Painéis CLT.	Painéis CLT.
Paredes interiores	Painéis CLT. Paredes de montantes e travessas de madeira com ou sem isolamento térmico e painel de revestimento. Paredes de montantes e travessas de aço leve com ou sem isolamento térmico e painel de revestimento em gesso cartonado (ou gesso com fibras de madeira).	Painéis CLT. Montantes e travessas de madeira maciça.
Elementos adicionais	Vigas e Pilares Glulam ou de outros derivados de madeira Ligadores metálicos.	
Sistemas semelhantes alternativos	Painéis lamelados cruzados cavilhados. Painéis lamelados pregados. Painéis de lamelas paralelas.	
Manuais de apoio	Documentos obtidos no sítio da empresa TISEM em Portugal. Documentos obtidos no sítio da Empresa KLH no Reino Unido. Documentos obtidos no sítio da empresa Binderholz. Documentos obtidos no sítio da empresa Stora Enso. CLT handbook - Cross Laminated Timber (U.S.. Edition) (Karacabeyli & Douglas, 2013)	

## 6.3 DEFINIÇÃO DO ESTUDO PRÉVIO

### 6.3.1 PROCEDIMENTOS DE PROJECTO

O estudo prévio, como foi referido no capítulo anterior consiste na concepção e desenvolvimento do tipo arquitectónico e das eventuais alternativas desenvolvidas no programa base. A concepção das soluções arquitectónicas deverá seguir critérios de projecto adoptados através de procedimentos sequenciais com os quais se pretende garantir uma resposta adequada ao problema colocado. Na Tabela 94 são listados os procedimentos e as questões que através do desenvolvimento dos estudos de caso foram considerados mais importantes para a definição dessas soluções arquitectónicas. A tabela contém acções de levantamento, análise e síntese e sugere o tipo de informação que deve ser produzida em cada momento. O processo de projecto terá início com a concepção formal, que não é detalhada na tabela porque é um processo genérico e corrente, seguindo com um conjunto de procedimentos que são focados no desenvolvimento do sistema construtivo, com relevo para a concepção do tipo estrutural. Apesar de serem listados 17 procedimentos principais, nem estes são estanques, nem a ordem apresentada é evidentemente obrigatória.

Os procedimentos de projecto tal como estão listados, são aplicáveis a todos os sistemas construtivos embora cada sistema possa implicar variações e acções específicas

Tabela 94 - Procedimentos e questões de projecto para definição da solução construtiva.

---

#### PROCEDIMENTOS DE PROJECTO

---

##### 1. Definição da solução formal

*Tipo de informação produzida: descrições e esquemas.*

##### 1.1. Que estratégias adoptar na definição da solução formal?

*Definição da solução funcional e espacial (em resposta às definições do programa base).*

*Definição da solução simbólica (em resposta às definições do programa base).*

*Integração de estratégias definidas como prioritárias (Arquitectura, durabilidade, economia, ambiente).*

---

##### 2. Recolha e interpretação de informação para definição da solução construtiva

*Tipo de informação produzida: descrições e esquemas: listagens, descrições e esquemas.*

##### 2.1. Que componentes construtivos há disponíveis no mercado?

*Listagem de componentes e produtos de construção.*

*Recolha de catálogo de fabricantes.*

*Recolha de fichas de características de produto.*

**2.1.1. Reticulados leves:** montantes e travessas, placas (de OSB, contraplacado, gesso e outros), vigotas (maciças, I-Joist, compostas), revestimentos, isolamentos flexíveis, telas, vedantes, pregos, parafusos, ferragens deslizantes, produtos de tratamento, etc.

**2.1.2. Porticados:** pilares, vigas (maciças, Glulam e outros derivados), placas (de OSB, contraplacado, gesso e outros), isolamentos flexíveis, telas, vedantes, pregos, parafusos, ferragens, produtos de tratamento, etc.

**2.1.3. Paredes de Toros:** tipo de secções e materiais de toros (maciços, lamelados), componentes auxiliares de paredes (paredes duplas, remates de canto), componentes aplicáveis dos sistemas Reticulados e Porticados para paredes, pavimentos e coberturas, revestimentos, isolamentos flexíveis, telas, vedantes, pregos, parafusos, ferragens deslizantes, produtos de tratamento, etc.

**2.1.4. Painéis CLT:** tipos de painéis, ligadores, revestimentos, isolamentos flexíveis, telas, vedantes, parafusos, produtos de tratamento, etc.

##### 2.2. Quais as dimensões normalizadas dos componentes disponíveis no mercado?

*Dimensões normalizadas de montantes estruturais, placas de revestimento estrutural (OSB, contraplacados), asnas pré-fabricadas, vigas I-Joist, vigas maciças, placas de revestimento não estrutural).*

**2.2.1. Reticulados leves:** secções de montantes vigotas e placas, e comprimentos.

**2.2.2. Porticados:** secções de pilares e vigas, e comprimentos.

**2.2.3. Paredes de Toros:** espessura de toros e comprimentos, secções dos componentes aplicáveis dos sistemas reticulados e porticados.

**2.2.4. Painéis CLT:** espessuras dos painéis, larguras e alturas máximas.

---

---

## PROCEDIMENTOS DE PROJECTO (continuação 1)

---

### 2.3. **Quais as empresas de fabrico e construção mais competentes a seguir como referência?**

Consulta de informação comercial, portfólio, obras visitáveis, preços, referências de clientes.

### 2.4. **Qual a composição típica dos elementos construtivos utilizada pelos fabricantes/ construtores?**

Análise da informação ou consulta directa às empresas fabricantes de produtos e casas de madeira.

Composição típica de pavimentos, paredes e coberturas de cada empresa.

Revestimentos mais comuns.

### 2.5. **Quais os produtos inovadores, testados noutros contextos que tenham interesse equacionar como opção?**

Sistemas estruturais, componentes, revestimentos.

---

## 3. **Escolha do tipo de soluções particulares, componentes e produtos a adoptar**

Tipo de informação produzida: descrições e esquemas: listagens e esquemas

### 3.1. **Quais as soluções específicas a adoptar para cada elemento construtivo principal?**

Integração das soluções estruturais particulares na solução formal.

Soluções adoptadas para paredes exteriores, cobertura, pavimento térreo, pavimento intermédios, paredes interiores, elementos adicionais (ver capítulos 3.1. a 3.4.).

Consulta às especialidades (Engenharia estrutural) sobre as soluções estruturais mais adequadas.

---

## 4. **Recolha de informação relativamente a pré-dimensionamentos**

Tipo de informação produzida: descrições e esquemas: tabelas e regras de pré-dimensionamento.

### 4.1. **Quais as regras de pré-dimensionamento para obter secções de componentes e vãos estruturais exequíveis?**

Consulta às especialidades (Engenharia estrutural) sobre regras de pré-dimensionamento para apoio à concepção.

Consulta de tabelas técnico-comerciais de produtos, tabelas técnicas de referência e manuais.

Regras para definir as secções a partir de vãos estruturais em função do tipo de componentes.

Dimensões máximas entre vãos estruturais para componentes de pavimento e respectivas secções, espécies e classes.

Dimensões máximas para vãos estruturais de cobertura e secções, espécies e classes dos componentes estruturais.

Dimensões máximas para pavimentos em consola, varandas e coberturas.

---

## 5. **Definição de uma grelha estrutural em planta com implantação da estrutura**

Tipo de informação produzida: descrições e esquemas: plantas e esquemas alternativos.

### 5.1. **Qual a grelha estrutural adequada às soluções espacial e estrutural?**

(Incluir as estratégias de projecto nas decisões)

Definição de uma grelha estrutural (em planta) apropriada ao tipo de estrutura escolhida.

Compatibilização entre grelha estrutural e definições espaciais (paredes interiores e vãos de janelas e portas).

Pré-dimensionamento dos elementos estruturais às dimensões da grelha (definição das secções dos componentes).

Implantação dos elementos estruturais verticais.

---

## 6. **Definição das plantas estruturais dos pavimentos**

(Incluir as estratégias de projecto nas decisões)

Tipo de informação produzida: descrições e esquemas: plantas e esquemas alternativos.

### 6.1. **Qual a orientação dos componentes de pavimento e cobertura em relação à grelha estrutural definida?**

Localização e orientação dos elementos estruturais de pavimentos e de cobertura.

Verificação da compatibilidade da compartimentação interior com a estrutura dos pavimentos.

Verificação da compatibilidade da orientação definida com varandas ou consolas do projecto.

Definição das características dos elementos de compartimentação (portantes ou de preenchimento).

Verificação da compatibilidade das aberturas de vazios e vãos nas paredes e nos pavimentos, com a estrutura escolhida e concepção de medidas de reforço.

Definição de lintéis necessários aos vãos de portas e janelas e reforços em vãos espaciais ou vazios de pavimento.

Verificação das aberturas na laje para escadas, couretes, chaminés e concepção de respectivas medidas de reforço.

---

## 7. **Pré-definição das características da envolvente**

(Incluir as estratégias de projecto nas decisões)

Tipo de informação produzida: descrições e esquemas: esquemas em corte da envolvente e cálculos térmicos básicos.

### 7.1. **A envolvente pré-definida cumpre as exigências de comportamento térmico?**

Consulta às especialidades (Engenharia térmica).

Análise sobre o comportamento térmico da envolvente (paredes exteriores, cobertura, pavimento).

Eventual correcção das espessuras dos materiais da envolvente ou substituição de materiais.

---

---

## PROCEDIMENTOS DE PROJECTO (continuação 2)

---

### 8. Definição tridimensional da estrutura

*Tipo de informação produzida: esquemas em corte 1/100, axonometrias, corte 1/50 ou 1/20 pela fachada.*

#### 8.1. Quais as dimensões verticais da estrutura?

*Definição da cota do pavimento térreo.*

*Verificação de riscos associados à relação da construção com o solo e com a penetração de humidade na construção.*

*Definição das dimensões verticais da construção (em corte) optimizando exigências funcionais e dimensões de componentes.*

*Verificação de problemas eventuais devido à retracção e ao assentamento previsível da estrutura (em corte).*

#### 8.2. A volumetria da estrutura apresenta riscos de integridade estrutural?

*Definição da configuração espacial da estrutura.*

*Verificação de problemas eventuais de integridade estrutural (comportamentos diferenciais em diferentes pontos dos componentes).*

---

### 9. Identificação de soluções construtivas problemáticas

*Tipo de informação produzida: esquemas em corte e planta.*

#### 9.1. Quais são as situações complexas que levantam problemas estruturais?

*Verificação de elementos construtivos singulares (em corte e alçado): varandas, projecções de elementos de cobertura, volumes em balanço, decks, vãos de maior dimensão, aberturas nos pavimentos (para escadas interiores e infraestruturas), percursos de infraestruturas.*

#### 9.2. Quais são as situações complexas que levantam problemas de comportamento térmico?

*Passagem de elementos estruturais (e outros) do interior para o exterior da envolvente construída (e.g. vigotas de varandas e de beirados).*

#### 9.3. Quais são as situações complexas que levantam problemas de comportamento acústico?

*Paredes, pavimento e tectos de quartos, fontes de ruído exterior.*

#### 9.4. Quais são as situações complexas que levantam problemas de comportamento ao fogo?

*Estruturas e revestimentos junto a lareiras e chaminés e vulnerabilidade em relação ao fogo a partir do exterior.*

---

### 10. Análise e Revisão de situações construtivas problemáticas

*Tipo de informação produzida: plantas cortes e alçados*

#### 10.1. Como resolver os problemas construtivos identificados?

*Consulta e discussão com as especialidades (Engenharias, estrutura, térmica, acústica, segurança contra incêndio).*

*Revisão eventual de soluções espaciais ou de soluções construtivas.*

*Eventual proposta de adopção de soluções especiais: estruturas de vigas e pilares compostos (pregados), vigas e pilares maciços ou Glulam, componentes estruturais de derivados de madeira, uso de materiais alternativos à madeira.*

---

### 11. Identificação de problemas de durabilidade

*Tipo de informação produzida: esquemas em corte*

#### 11.1. Quais são as situações que levantam problemas de durabilidade?

*Verificação dos beirados, caleiras, projecções de cobertura, possibilidade de "ponding" na cobertura, estruturas salientes (varandas, pálas e projecções em geral), componentes de madeira exteriores, intersecção da cobertura com a fachada, fachadas expostas, terraços. Ligação da estrutura à base e às fundações. Passagem de redes de água, e zonas húmidas. Dependência de manutenção regular e dificuldades de acesso para inspecção.*

---

### 12. Análise e revisão de problemas de durabilidade

*Tipo de informação produzida: esquemas em corte e pormenores*

#### 12.1. Como resolver os problemas de durabilidade identificados?

*Adoptar medidas de durabilidade (ver estratégias de durabilidade).*

*Eventual adopção de soluções especiais.*

*Eventual revisão das soluções formais e construtivas adoptadas.*

---

### 13. Definição de solução construtiva provisória

*Tipo de informação produzida: plantas cortes e alçados*

#### 13.1. A estrutura proposta com base nos pré-dimensionamentos do Arquitecto é exequível?

*Consulta às especialidades (Engenharia estrutural) para análise e verificação.*

*Componentes utilizados (materiais, ligadores, fabricantes, espécies, tratamentos).*

*Ações (pesos próprios, sobrecargas de neve, durante a execução, acidente).*

*Situações variáveis das estruturas (fases de construção, alteração de condições e transporte).*

*Condições ambientais (de humidade e temperatura) para determinar a humidade de equilíbrio dos componentes.*

---

### 14. Eventual revisão e definição da solução arquitectónica provisória

*Tipo de informação produzida: plantas cortes e alçados*

*Proposta arquitectónica com integração de solução construtiva e formal.*

*Propostas arquitectónicas alternativas eventuais.*

---



---

**PROCEDIMENTOS DE PROJECTO** (continuação 3)

---

**15. Avaliação da solução ou das soluções**

*Tipo de informação produzida: plantas cortes e alçados, listas de preços, tabelas de avaliação*

*Proposta arquitectónica com integração de solução construtiva e formal.*

*Propostas arquitectónicas alternativas eventuais.*

**15.1. Quais são os preços estimados de cada alternativa?**

*Consulta às empresas fabricantes e construtoras para obtenção de preços estimados.*

**15.2. Qual é a melhor solução arquitectónica?**

*Avaliação da solução ou das soluções (com base em critérios definidos).*

---

**16. Consulta Empresas fabricantes/ construtoras**

*Tipo de informação produzida: listas de preços, tabelas de avaliação*

**16.1. Qual é o preço estimado da solução arquitectónica?**

*Obtenção de propostas, orçamentos, características técnicas, condições, garantias e prazos*

**16.2. Qual é a melhor proposta (das empresas de casas de madeira) do ponto de vista do cliente?**

*Análise e avaliação das propostas.*

*Seleção de uma empresa.*

**16.3. Há situações que necessitam de revisão?**

*Propostas de revisão / adaptação da solução às especificações do fabricante.*

---

**17. Solução final****17.1. Como desenvolver o projecto de execução?**

*Hipótese 1 - O projecto está desenvolvido com bom nível de detalhe e integração com o fabricante, podendo ser dado início ao fabrico dos componentes exigindo-se um projecto de execução mínimo.*

*Hipótese 2 - O projecto não está ainda completamente integrado com a empresa de fabrico, devendo essa integração ser completada numa fase seguinte, de projecto de execução, com informação mais detalhada.*

*Nota: O projecto base de Arquitectura para efeitos de licenciamento não deverá em princípio necessitar de mais definições que aquelas que foram definidas para a solução formal. Ao processo de Arquitectura devem ser acrescentados os projectos das especialidades solicitados pelas entidades licenciadoras.*

---

### 6.3.2 ESTRATÉGIAS DE ECONOMIA

Durante a concepção do projecto, a economia das soluções deve ser um objectivo sempre presente. No entanto, em função dos objectivos e da importância dos critérios de avaliação das soluções definidos pelo cliente, a economia pode ser relegada para segundo plano em relação a outros critérios como por exemplo a qualidade estética ou ambiental do projecto. As estratégias de economia que se apresentam na Tabela 95 contemplam procedimentos, relacionados tanto com as soluções dos sistemas formais, como com os sistemas construtivos, que podem contribuir para uma redução dos custos da construção

Tabela 95 - Estratégias de economia (redução de custos).

---

**ESTRATÉGIAS DE ECONOMIA**

---

**1. Definir tipos funcionais:**

- Com base num tipo estrutural previamente escolhido e adaptar o seu dimensionamento (dos espaços interiores) às dimensões optimizadas para a solução estrutural escolhida.
- Com espaços dimensionados tendo por base o nível de qualidade recomendável ou no limite, mínimo.

---

**2. Definir tipos espaciais:**

- Com características parciais do subtipo simples, evitando caves e desenvolvimentos em mais de um piso.
  - Com geometria de planta regulares: rectangular, de perímetro linear, sem recortes.
  - Com geometrias de fachada em planos contínuos (eliminar varandas, corpos balançados e mudanças de plano).
  - Com Implantações de nível.
  - Com espaços interiores compartimentados de modo a reduzir os vãos estruturais.
  - Com repetição de organizações espaciais em pisos sobrepostos.
  - Com uma geometria de localização dos vãos de janelas e portas planeada em conjugação com a localização dos componentes estruturais.
-

ESTRATÉGIAS DE ECONOMIA (continuação)	
<b>3. Definir tipos simbólicos:</b>	
–	Tradicionais porque as soluções com mais tradição são mais normalizadas.
–	Com cobertura plana porque permitem a normalização dos elementos interiores de parede.
–	Com cobertura inclinada porque permitem a utilização do espaço de sótão.
–	Com vãos de janelas e portas com dimensões controladas (reduzidas e médias).
<b>4. Escolher tipos estruturais:</b>	
–	Do tipo reticulados leves, porque poderá ser o sistema com custos mais acessíveis.
–	Dimensionando componentes nos limites económicos de transporte, elevação e manuseio manual.
–	Evitando desfasamentos de linhas verticais de transmissão de cargas ao solo.
–	Com previsão dos vazios para passagem de infraestruturas, para serem cortados em fábrica.
<b>5. Racionalização dos componentes estruturais:</b>	
–	Definição de uma grelha estrutural em planta dimensionada em função das dimensões modulares dos componentes normalizados para evitar cortes e desperdícios.
–	Conjugação da grelha estrutural e da localização dos componentes estruturais com as paredes interiores e com a abertura de vãos.
–	Definição de grelhas estruturais de maiores dimensões para reduzir o volume de materiais e a quantidade de ligadores utilizados (preferir por exemplo 600mmx600mm a 400x400mm).
–	Definição das alturas da construção com base nos comprimentos normalizados dos componentes estruturais (montantes, pilares, vigas, painéis) e dos painéis de revestimento (placas OSB, contraplacado, placas de gesso).
–	Definição de inclinações de cobertura com ângulos utilizados nos produtos de cobertura normalizados (asnas).
–	Optar por soluções aligeiradas (componentes leves) sempre que a expressão arquitectónica da madeira não seja um pressuposto de projecto.
–	Recorrer a elementos de construção pré-fabricados.

### 6.3.3 ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE

A concepção do projecto de Arquitectura com construções em madeira destaca-se dos projectos com outros materiais estruturais em grande parte devido às exigências de durabilidade a que os seus sistemas construtivos devem responder. Para além das exigências definidas a nível regulamentar que devem ser sempre cumpridas, há exigências facultativas, podendo também afirmar-se que, tal como para as exigências de economia há critérios que podem ser considerados pelo cliente como mais importantes que a durabilidade.

As estratégias de durabilidade que se apresentam na Tabela 96 estão agrupadas por elementos construtivos e por temas. Verifica-se neste caso que apesar da intenção de se apresentar uma tabela de aplicação genérica, algumas das estratégias são direccionadas para sistemas construtivos específicos. As estratégias de durabilidade terão em princípio uma aplicação mais ampla nos sistemas que são mais vulneráveis por apresentarem mais madeira à vista, como acontece nos sistemas de paredes pesados de toros. No entanto os sistemas com múltiplas ligações entre componentes como os reticulados leves e os porticados acabam por estar contemplados pela maioria das medidas. O sistema que menos preocupações de durabilidade suscita é o de lamelados cruzados colados uma vez que pela sua constituição e pelas regras do próprio sistema, expõe menos os componentes à humidade (por estarem revestidos e por terem menos componentes). Os lamelados cruzados têm também um comportamento mais estável, sendo os assentamentos e as retracções pouco significativos.

Os elementos construtivos contemplados na tabela de estratégias de durabilidade (cf. Tabela 96) são as paredes exteriores, a cobertura, o pavimento, os elementos exteriores, e as fundações. Incluem-se também outros aspectos como os cuidados a ter na fase da obra, o terreno envolvente e o controlo específico relativamente ao ataque biológico, para além do tratamento químico e um conjunto de outras medidas adicionais como a manutenção.

---

**ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE (protecção, drenagem, secagem)**

---

**1. Paredes exteriores**

**1.1. Paredes com caixa-de-ar:**

- Utilizar paredes com caixa-de-ar entre o intradorso do revestimento e a tela "pára-chuva" (permeável ao vapor) para permitir a drenagem da humidade que penetra para a face interior do revestimento e permitir a sua secagem através da ventilação natural. Os componentes interiores das paredes devem ter uma humidade inferior a 20%.
- Utilizar paredes com caixa-de-ar sempre que os acabamentos finais tenham juntas abertas ou permeáveis.
- Utilizar paredes sem caixa-de-ar apenas em situações em que as projecções da cobertura protegem suficientemente as fachadas ou em regiões em que os valores da humidade do ar e da precipitação são reduzidos.
- Garantir a ventilação da caixa-de-ar através de aberturas a nível inferior e superior e com remates de drenagem na base.

**1.2. Condensações:**

- Algumas práticas de poupança energética (isolamento adicional ou estanquidade ao ar por exemplo) podem conduzir a riscos de condensação. Ter atenção à utilização de isolamentos térmicos não permeáveis, utilizados adicionalmente numa segunda camada pelo exterior do painel estrutural OSB, porque o vapor de água que migra para o exterior pode condensar.
- Instalar telas estanques permeáveis ao vapor (quando houver risco de condensação de água na superfície do isolamento térmico e a sua acumulação no interior da parede), ou revestimentos pára vapor na face interior do isolamento térmico.
- Evitar pontes térmicas através da definição de uma envolvente o mais homogénea possível.

**1.3. Revestimentos:**

- Ponderar não revestir interiormente os sistemas estruturais que podem ficar expostos (como os painéis de lamelados colados cruzados, os porticados e as paredes pesadas de toros, quando revestidos pelo exterior) para permitir a inspecção e a detecção de patologias.

**1.4. Base das paredes:**

- As travessas de base de paredes exteriores que assentam sobre betão devem ser colocadas a uma distância segura acima do solo (algumas fontes referem cerca de 20cm - 8").
- As travessas de base que assentam nas lajes ou em peças de betão ou alvenaria devem ser tratadas em profundidade com produtos termiticidas e fungicidas.
- Afastar do solo os revestimentos de madeira da base das paredes exteriores. Devem ser afastadas do solo (diferentes fontes referem diferentes valores: (15cm, 24cm, 30cm).
- Instalar escudos de térmitas para facilitar a detecção de ataques durante as inspecções e barreiras para dificultar o acesso aos componentes de madeira.

**1.5. Revestimentos de fachada:**

- Os revestimentos de fachada em madeira e os remates expostos devem ser naturalmente duráveis ou devem ser tratados.
- Utilizar revestimentos em madeira de espécies duráveis (consultar EN 350-2).
- Utilizar revestimentos de madeira para fachada modificados termicamente ou quimicamente.
- Utilizar, no limite, a madeira tratada quimicamente ou revestimentos alternativos à madeira, sempre que esta não seja considerada adequada.
- A drenagem das juntas, das saliências e dos recessos das paredes exteriores deve ser garantida por capeamentos metálicos (chapas quinadas) ou de madeira com pingadeiras.
- Selar as juntas através das quais a água possa entrar e possa ser conduzida para elementos e zonas de difícil secagem, especialmente nos sistemas com estruturas à vista.
- Evitar o contacto das paredes exteriores com pavimentos exteriores.
- Evitar a instalação de floreiras ou elementos vegetais na proximidade das paredes exteriores.

**1.6. Janelas e Portas:**

- O sistema de caixilharia de janelas e portas deve ser estudado, realizado e montado de forma a ter um desempenho adequado, nomeadamente em termos de permeabilidade ao ar e estanquidade à água.
  - As janelas devem ser detalhadas com meios de protecção e drenagem das superfícies de caixilho e aro que irão necessariamente receber e acumular água da chuva, especialmente nos sistemas construtivos que integram juntas para assentamento da estrutura.
  - Os lintéis das portas e vãos devem ter remates de protecção, a não ser que estejam protegidos por uma cobertura.
-

---

## ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE (continuação 1)

---

### 2. Cobertura

- Adoptar preferencialmente coberturas inclinadas porque têm um comportamento superior em termos de drenagem e menos riscos de anomalias da estrutura em consequência de assentamentos e deformações da estrutura.
- Em coberturas pouco inclinadas devem ser adoptadas medidas para evitar o “ponding” (acumulação de água devido a deformação da estrutura).
- Prever necessariamente uma cobertura com projecções para além do plano da fachada para protecção dos elementos estruturais que estão à vista no plano da fachada (especialmente no sistema de paredes pesadas de toros).
- Prever uma cobertura com projecções para além do plano da fachada para protecção dos revestimentos<sup>300</sup>. As projecções da cobertura permitem também a instalação de dispositivos de ventilação com mais facilidade.
- Devem prever-se caleiras e tubos de queda para evitar salpicos do pavimento para a fachada, a não ser que se tenha previsto um beirado de pelo menos 24" (60,96cm).
- Estudar os algerozes (dimensionar e detalhar) de modo a minimizar o risco de entupimento e acumulação de detritos.
- Os fluxos de drenagem (tubos de queda, sumidouros, descargas, tubos-ladrão) devem ser afastados de elementos estruturais.
- Deve evitar-se a instalação de tubos de queda no interior do perímetro construído.
- As juntas da cobertura com outros elementos (paredes, chaminés, muretes, tubagens) exigem a dobragem e reforço das telas de estanquidade com um remate de pingadeira quando estas terminam na superfície vertical. As zonas em que a inclinação da cobertura encontra uma barreira devem incorporar enchimentos para possibilitar as drenagens laterais.
- Não devem haver juntas nas arestas que conduzem a água de uma superfície para outra, devendo ser previsto um capeamento contínuo preferencialmente com arestas boleadas.
- A intersecção dos elementos verticais de fachada com a cobertura deve ter um remate de protecção para evitar a entrada de água entre os dois elementos.
- Os revestimentos de cobertura como as *shingles* de madeira (não aceitáveis em zonas com risco de incêndio florestal), as telhas ou as chapas metálicas devem prolongar-se para além dos painéis de revestimento estrutural, desejavelmente com remates de pingadeira.
- Em regiões onde o fenómeno de “barreira de neve” possa ocorrer junto ao perímetro da construção (quando são utilizados beirados), devem duplicar-se as telas estanques em toda a linha do perímetro.
- Deve prever-se a ventilação natural dos espaços sob a cobertura para evitar a elevação de temperaturas, favoráveis também ao desenvolvimento de fungos.
- As vigas de cobertura que sobressaiam para além da fachada devem ter um capeamento, ou devem ser tratadas.

---

### 3. Pavimento

- Evitar o contacto directo entre os elementos de madeira (vigas ou pilares) e as bases de betão (lajes, fundações, sapatas). Prever uma tela estanque entre a madeira e a base, e/ou um elemento intercalado de madeira tratada assente com as fibras paralelas ao pavimento.
- Nas soluções de ensoleiramento geral ou de lajes em caves, deve-se prevenir a ascensão de humidade e o seu acesso aos componentes de madeira (que assentam sobre as referidas lajes), instalando sob o betão uma tela impermeável sobre uma base com pelo menos 4" (10,16cm) de gravilha.
- Nas soluções de espaços de serviço sob pavimentos térreos elevados com estruturas de madeira, deve-se instalar uma tela de protecção sobre o solo. Esta será no entanto uma solução muito desfavorável em zonas de risco de incêndios florestais por permitir a acumulação de partículas incandescentes.
- Quando vigas ou vigotas de pavimento ou de cobertura em madeira encastrarem em paredes de alvenaria ou de betão deve prever-se uma junta com um espaço de ventilação entre os dois materiais. Esta junta deve ter pelo menos 1/2" (1,27cm). Nos casos em que não é realizada a junta, as vigas devem ser submetidas a tratamento, especialmente nos topos.
- Quando o risco de transmissão de humidade é elevado, pode evitar-se o encastramento das vigas de madeira na alvenaria através da utilização de ligadores de suspensão.
- As vigas de madeira próximas do solo (no caso de pavimentos sobre espaços de serviço) devem ser distanciadas convenientemente deste (aconselha-se 18"- 45,72cm para as vigotas e 12"- 30,48cm para as vigas principais. Esta disposição será válida também para estruturas exteriores (decks, varandins, galerias, etc.).
- Os revestimentos das paredes exteriores devem terminar inferiormente pelo menos 2,5cm abaixo do nível da junta entre o pavimento e a estrutura da parede, formalizando uma pingadeira.

---

### 4. Paredes interiores

- As ligações entre paredes interiores e tectos devem acomodar os assentamentos ou retracções das vigas de pavimento através de juntas dimensionadas em função da dimensão previsível do assentamento.
- As ligações entre paredes interiores e exteriores devem acomodar os assentamentos dos toros através de uma junta de assentamento e ligações deslizantes.
- As paredes interiores em contacto com ambientes húmidos e infraestruturas devem ter protecções de estanquidade adicional.

---

<sup>300</sup> Um estudo do Canadian Wood Council estabelece uma correlação entre o número de problemas detectados em edifícios e a dimensão das projecções das coberturas (CWC, 2000).

---

## ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE (continuação 2)

---

### 5. Elementos exteriores

- Prever o escoamento de água das ligações entre componentes exteriores: pilar-viga; pilar-base; e contacto das vigas com os revestimentos.
  - Os ligadores devem ser de materiais não oxidáveis ou ter tratamentos anti oxidação e devem ter meios de escoamento de água (orifícios, inclinações, etc.) ou de separação da superfície de contacto da madeira com o ligador, que evitem a acumulação de água.
  - Os pavimentos envolventes às bases dos pilares devem ter declives para o exterior do perímetro construído ou para ralos ligados aos esgotos pluviais.
  - Os pilares exteriores em que há possibilidade de entrada de água pelos topos deverão ser protegidos por peças do tipo "capitel" ou por peças de remate que cubram as juntas dos topos com a superfície que se sobrepõe ao pilar.
  - As peças sacrificiais de madeira ou de derivados devem ser sujeitos a uma inspecção periódica e a um programa de substituição.
  - Proteger os elementos de madeira expostos, em especial os topos com as fibras cortadas transversalmente e as superfícies horizontais. Esta protecção pode ser realizada com a própria cobertura da construção, com capeamentos (metálicos, de madeira ou derivados) ou recorrendo a pinturas protectoras.
  - Os capeamentos devem permitir a retracção e o inchamento da madeira e a circulação do ar nas superfícies de madeira cobertas. A peça protectora deve ser o mais possível independente da peça que protege.
  - As superfícies "horizontais" devem ter um declive para expulsar a água por gravidade para o lado mais convenientes.
  - Devem ser previstas pingadeiras em elementos de descarga de água e também nos remates e juntas entre diferentes materiais.
  - Os remates (as pingadeiras por exemplo) projectados horizontalmente na perpendicular a uma superfície vertical devem ter mais de 9mm para evitar o fenómeno de aderência da água nas transições de pequenas dimensões.
  - Não devem expor-se ao ambiente exterior os elementos compostos por pregagem (e.g. pilares compostos por vários montantes ligados por pregagem), evitando-se em especial a exposição dos topos.
  - Deve evitar-se a aplicação de pregos lisos nas ligações expostas, devido ao risco de arrancamento.
  - Evitar detalhes e juntas entre componentes de madeira em que os topos com as fibras cortadas transversalmente fiquem expostas, e na horizontal.
  - Devem proteger-se os parafusos de ligação entre componentes de madeira expostos, contra a corrosão (por exemplo galvanizados), devendo prever-se anilhas de transição com a madeira, evitando-se os apertos excessivos.
  - Devem evitar-se as linhas de parafusos de ligação entre componentes de madeira dispostas ao longo do fio de modo a reduzir o risco de fendimento (separação das fibras).
  - Os componentes, especialmente os de grande secção, podem ser alterados na sua forma de modo a limitar as tensões internas devidas a gradientes de humidade na secção transversal. Os processos mais comuns consistem na introdução de sulcos (juntas preventivas) nos topos ou ao longo do comprimento dos componentes, ou ainda na redução da secção das peças nas extremidades onde se dá normalmente a infiltração da água.
  - Deve ser feita a selagem de juntas através de materiais elásticos, desde que esta não impeça a secagem de água e a ventilação de superfícies internas sujeitas à entrada de água por outros pontos.
  - Devem separar-se os elementos de construção exteriores como cercas, portões, degraus, lajetas de pavimento ou outros, dos elementos da estrutura principal do edifício (pelo menos numa distância de 2"- 5,08cm).
  - Devem afastar-se do solo elementos exteriores de madeira, como degraus, vigas de escadas e outras estruturas exteriores (pelo menos 6"- 15,24cm).
  - Devem ser escolhidas espécies duráveis, ou se esta medida não for considerada suficiente devem-se prever espécies passíveis de impregnação com tratamento químico.
  - Sempre que não possam ser evitadas as soluções de pilares e pilaretes de madeira assentes directamente em alvenaria, ou betão, ou sujeitos aos elementos do clima ou em caves, estes devem ser submetidos a tratamento preservador em profundidade devendo ser alvo de inspecção periódica, contemplando a eventual substituição. Esta situação deve ser evitada uma vez que os tratamentos actuais não garantem 50 anos de protecção efectiva.
  - Os elementos estruturais de madeira que suportem coberturas ou pavimentos permeáveis à humidade devem ser tratados.
  - Devem evitar-se perfurar as telas nas superfícies horizontais com ligações de guardas em coberturas, varandas e galerias. Preferencialmente devem ligar-se as guardas nos topos das varandas ou das coberturas e não nos planos horizontais.
  - Elementos verticais de guardas de madeira devem ser ligados a um elemento horizontal apenas numa das faces de modo a deixar os topos inferiores libertos de risco de acumulação de água.
  - Devem ser previstos acessos para inspecção visual em elementos estruturais da cobertura, intradorsos de beirados, varandas e pálas.
  - Na base dos elementos exteriores que fazem juntas com o pavimento (como no primeiro toro, ou no remate dos painéis de OSB com a laje) deve ser instalada uma pingadeira.
  - As juntas entre componentes estruturais exteriores (por exemplo o encaixe de toros sucessivos ou dos cantos) devem ser selados com materiais elásticos.
-

---

## ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE (continuação 3)

---

### 6. Fundações

- Prever um plano de drenagem em todo o perímetro das fundações e nas fundações interiores para recolha das águas que se infiltram no solo adjacente ao edifício (prever caleiras, drenos e sumidouros), integrando caleiras e sumidouros (especialmente em soluções de espaço de serviço sob pavimento térreo). Dispor também a inclinação do terreno para o exterior das fundações.
- Rebocar e impermeabilizar as paredes de fundação desde as sapatas até ao nível do terreno, com uma meia cana nas junções e mudanças de plano (sapata/muro). Utilizar pinturas impermeabilizantes para prevenir a ascensão de humidades.
- A altura das fundações nos espaços de serviço, que recebem elementos de madeira como pilares, deve ser calculada em relação ao nível do terreno original de modo a que a intersecção da construção com o terreno mantenha entre este e a travessa de base um afastamento de segurança (pelo menos 20cm).
- Isolar termicamente as fundações pelo perímetro exterior de modo a evitar as condensações nas faces interiores que são propícias ao desenvolvimento de fungos.
- Promover a ventilação de elementos estruturais assentes nas fundações, que possam ser sujeitos a humidade ascensional.
- Os pilares de madeira sobre lajes de caves devem apoiar-se sobre uma base de betão ou metálica saliente do nível do pavimento (cerca de 2,5cm). No caso de caves sem laje, deve prever-se uma maior distância de segurança entre o pilar e o solo (cerca de 15cm).
- As paredes de contenção e fundação sempre que forem construídas com componentes de madeira (solução ocasional na América do Norte, só justificável em situações excepcionais, devido aos riscos que apresenta em termos de durabilidade e de segurança contra incêndio) devem ser tratadas em profundidade com produto termiticida e fungicida.
- Os espaços de serviço sob os pavimentos devem ser ventilados naturalmente (ventilação cruzada) através de aberturas nas paredes de fundação (ou em caso de necessidade através de meios mecânicos). As aberturas devem estar situadas pelo menos 7,6cm acima do solo e abaixo da base das vigotas de pavimento devendo os espaços laterais estar desobstruídos em pelo menos 15,2cm, devendo as grelhas de ventilação ser protegidas contra a corrosão. A ventilação deve ser efectiva em climas onde a humidade exterior é inferior à humidade interior (o que não acontece nos climas quentes e húmidos onde pode ter que ser adoptada outra estratégia de secagem, ou evitados os espaços de serviço fechados).
- Deve ser previsto acesso aos espaços de serviço sob o pavimento térreo para inspecção e manutenção.

### 7. Obra

- Utilizar as vantagens da pré-fabricação de componentes e a pré-montagem de elementos em ambientes controlados (na fábrica) para evitar a sua exposição à humidade durante a obra.
  - O fechamento da obra com as paredes exteriores e a cobertura deve ser a prioridade do programa da construção. Deve-se proteger toda a envolvente da construção com telas estanques o mais rápido possível.
  - Não instalar componentes húmidos no interior de paredes, ou no caso de tal acontecer, completar apenas as paredes quando a secagem destes componentes for efectiva.
  - Antes de instalar barreiras de vapor ou fechar as paredes e coberturas, se forem detectados níveis elevados de humidade, devem deixar-se os componentes secar.
  - Prever a secagem artificial dos espaços durante a obra sempre que for detectada humidade que não possa ser eliminada naturalmente em tempo útil.
  - Durante a construção deve ser verificado se os componentes instalados têm o teor de água compatível com o ambiente (em termos de teor de água de equilíbrio com temperatura e humidade relativa médias) em que são instalados.
  - A chegada à obra dos materiais (secos) deve ser realizada o mais próximo possível do momento da sua montagem.
  - Transportar, empilhar e manipular os componentes com os cuidados indicados pelos fabricantes.
  - Evitar os tempos prolongados de armazenagem em obra, especialmente quando se tratar de componentes derivados de madeira do tipo OSB, porque por um lado têm teores de água de fabrico mais baixos que a madeira maciça mas por outro, têm uma maior superfície de exposição com fibras abertas.
  - Os componentes de madeira devem ser armazenados secos, afastados do solo, cobertos e ventilados. Deve ser deixada uma distância (15cm a 20cm) entre o solo e os componentes (vigas I-joist, painéis, etc.) armazenados.
  - Devem manter-se as telas de protecção fornecidas com os componentes até ser necessário preparar a sua montagem. Verificar se as telas de protecção contribuem para a retenção de humidade e nesse caso garantir processos de ventilação e secagem através a abertura de passagens de ar.
  - Os estaleiros com solos húmidos devem ser protegidos com telas de polietileno ou com gravilha.
  - Evitar que durante a obra fiquem depositados elementos de madeira (enterrados em valas e escavações) e remover todos os restos de madeira à superfície que possam atrair térmitas e contaminar o resto da construção.
  - Os elementos de outros materiais (alvenarias, escadas, revestimentos cerâmicos) devem ser instalados em fases mais finais da obra, com as madeiras mais secas.
  - Especificar o teor de água pretendido e espécies de madeira com base nos seus nomes científicos e não nos nomes comuns. Especificar critérios de comportamento para os materiais, componentes e ligações de projecto face à utilização estrutural ou não e ao ambiente envolvente (seco, húmido, exterior) seguindo as especificações das normas de produto respectivas.
  - Os cortes e furações dos componentes de construção (para vãos, passagem de infraestruturas) devem ser efectuados antes dos tratamentos químicos.
  - Após a obra, os espaços interiores não devem ser aquecidos muito rapidamente para evitar fendas de retracção especialmente nos componentes de grandes secções.
-

---

## ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE (continuação 4)

---

### 8. Terreno envolvente

- Evitar a exposição das estruturas ao quadrante poente (e sul) e aos ventos dominantes (que possam potenciar a exposição à chuva), ou garantir a sua protecção através de barreiras naturais ou artificiais.
- Proteger com árvores os quadrantes mais expostos ao vento e ao sol (poente e sul em especial). Ter especial cuidado na escolha das espécies para evitar a queda de ramos ou a acumulação de folhas sobre a construção.
- Prever estruturas sombreadoras integradas na Arquitectura (eventualmente amovíveis), nos quadrantes mais expostos.
- Eliminar o contacto, ou a hipótese de contacto, entre árvores ou arbustos e elementos de madeira da construção.
- Prever e manter as condições do solo envolvente à fachada com um desnível para o exterior e com bom escoamento.
- Desviar e drenar as zonas de terreno do perímetro construído que eventualmente recebam águas subterrâneas dos pontos mais elevados dos terrenos envolventes.
- Escolher materiais de solo ou pavimento envolvente que evitem o salpico para a fachada (tipo gravilha ou outros permeáveis) e com cores que não acumulem (e transmitam) grandes quantidades de calor.
- Nas medidas de tratamento das madeiras próximas do solo devem-se prever as eventuais subidas dos níveis do terreno, ou a acumulação de neve.
- Os elementos de madeira com funções estruturais situados a menos de 15cm do solo ou em contacto com ele têm que ser tratados com produtos preservadores eficazes e de modo adequado.

### 9. Controlo de térmitas

- Evitar restos de madeira ou outro tipo de detritos esquecidos na obra que possam atrair e ser veículos de térmitas para o interior da construção.
- Podem ser instaladas barreiras ou escudos de térmitas que obrigam os insectos a alterar o percurso de subida surgindo no exterior. Os escudos devem ser de chapas de aço galvanizadas e devem ser instalados no topo das paredes de fundação e em redor dos tubos de infraestruturas que se elevam do pavimento para o interior da construção.
- No caso de serem instalados escudos de térmitas, estes não devem ser "disfarçados" com revestimentos exteriores ou "decks".
- Em áreas de alto risco podem ser instaladas barreiras de terreno (como as grelhas metálicas ou as gravilhas anti-térmita) que lhes restringem o movimento. Estas protecções podem ser utilizadas selectivamente em locais considerados mais críticos como nos pontos de penetração de tubagens entre fundações.
- Em zonas de alto risco, as medidas de protecção por afastamento dos elementos e madeira em relação ao solo, devem ser complementadas pela escolha de madeiras naturalmente duráveis ou pela prescrição de tratamento biocida.
- Podem adoptar-se armadilhas de térmitas no solo com material celuloso não tratado que são monitorizadas ciclicamente (assim que são detectadas, o isco é substituído por material tratado).
- As juntas entre diferentes elementos de fundação (alvenaria e betão) devem ser preenchidas e seladas com argamassa.
- A protecção química do solo envolvente às estruturas e sob a laje é um processo que não deve ser utilizado.

### 10. Tratamento químico

- Prever o tratamento químico de todos os componentes de forma adequada à classe de risco de utilização e à classe de durabilidade da espécie de madeira a usar. (NP EN 460-1995).
- Prever o tratamento químico de todos os elementos da envolvente construída que estejam para o exterior da barreira estanque e que não sejam visitáveis.
- Os elementos estruturais expostos de varandas e telheiros, se não forem cobertos ou se o clima for quente e húmido devem ser tratados.
- Em todas as situações em que as medidas de protecção pela construção não são possíveis, a madeira deve ser tratada ou evitada.

### 11. Medidas adicionais

- Em situações onde o risco de humidade é grande pode substituir-se a madeira maciça por materiais derivados como o contraplacado, o Glulam e os painéis CLT que, devido à presença de colas, tendem a armazenar menos humidade que a madeira maciça quando sujeitos às mesmas condições. Deve no entanto garantir-se que estes são adequados ao uso e condições de exposição.
  - Para elementos expostos e onde as restantes protecções construtivas não são possíveis ou desejáveis, deve ser escolhida madeira de espécies duráveis.
  - Utilizar tratamentos superficiais de madeira ou repelentes de água em situações de risco moderado, ou seja quando a madeira está seca a maior parte do tempo e não sujeita a abrir fendas, ou em que os elementos construtivos não são muito espessos (permitindo a infiltração e retenção do produto).
  - Utilizar tratamentos superficiais de madeira ou repelentes de água para elementos como caixilhos de janelas e portas, revestimentos exteriores e peças de remate.
  - Proteger os topos das madeiras naturalmente duráveis com capeamentos ou com repelentes à água uma vez que os extractivos que lhes conferem durabilidade, sujeitos aos ciclos de humificação/secagem, vão sendo eliminados
  - As pinturas podem ser um meio adicional de protecção das superfícies expostas, protegendo a entrada de água no interior da madeira, especialmente nos contextos de elevada precipitação e humidade, desde que fora do contacto com o solo.
  - As tintas utilizadas devem ser microporosas, permitindo a libertação da humidade acumulada no interior da madeira.
  - Os revestimentos que previsivelmente vão abrir fendas não devem ser pintados.
-

---

**ESTRATÉGIAS DE DURABILIDADE** (continuação 5)

---

- Devem ser utilizadas madeiras estáveis, sobretudo no caso de se pretender utilizar a protecção com pintura.
  - As superfícies pintadas devem ser verticais ou inclinadas e deverão haver pingadeiras no início da transição para as superfícies de intradorso.
  - Utilizar ferragens e parafusos com tratamentos resistentes à corrosão.
  - Conceber detalhes (rufos, remates, perfis de caixilhos, aros, soleiras, peitoris) com inclinações que prevejam os movimentos de assentamento, inchamento e retracção e exigências de drenagem (especialmente vãos de portas e janelas, varandas e volumes em consola).
  - Os lintéis devem ser protegidos com um remate que proteja a junta aberta entre a guarnição e a parede (especialmente nos sistemas de toros).
  - A barreira estanque através de tela deve ser contínua, mas deve poder acomodar os movimentos previsíveis, especialmente nas juntas de construção e nas juntas da própria tela.
  - As vedações de juntas com selantes não devem ser assumidas como o elemento principal de protecção uma vez que o risco da sua deterioração é elevado.
  - As grelhas de ventilação das coberturas e dos espaços de serviço sob os pavimentos devem ser acessíveis para limpeza e inspecção.
  - As estruturas escondidas por tectos exteriores devem ser acessíveis (os pormenores de ligação devem contemplar aparafusamento em vez de pregagem, sendo recomendável considerar alçapões de inspecção).
  - Os capeamentos sobre os componentes de madeira devem proporcionar uma ligação com um espaço para ventilação intermédio.
  - Deve ser definido um plano de manutenção e inspecção calendarizada: reparação de pinturas, reparação e substituição de peças sacrificiais, preenchimento de juntas, verificação de assentamentos, fendas e acumulações de humidade ou ataques biológicos.
- 

**6.3.4 ESTRATÉGIAS DE INTEGRIDADE CONSTRUTIVA**

A madeira, para além das preocupações que suscita relativamente à durabilidade, que está em grande medida relacionada com o teor de água que esta apresenta num dado momento, coloca problemas relacionados com a sua retracção ou inchamento (nomeadamente fendas e empenos) e com os assentamentos que são próprios da maioria dos sistemas construtivos. As situações de risco que podem surgir devido ao comportamento higroscópico da madeira e devido ao facto de ser um produto heterogéneo e anisotrópico, podem colocar em causa a integridade construtiva da construção e ao mesmo tempo reduzir a sua durabilidade. Considerou-se por isso necessário listar um conjunto de estratégias destinadas a evitar ou prever problemas construtivos (cf. Tabela 97). Mais uma vez, algumas das estratégias não têm uma validade geral, abrangendo principalmente as soluções de porticados, de reticulados leves e de paredes pesadas de toros, com incidência nos componentes de vigas e respectivas ligações. O sistema de painéis pesados de lamelados cruzados será aquele que pelas características dos painéis e sempre que forem usados apenas os componentes típicos do sistema, menos preocupações de integridade construtiva suscitará ao nível da concepção arquitectónica.

Tabela 97 - Estratégias de integridade construtiva (FP Innovations, 2015).

---

**ESTRATÉGIAS DE INTEGRIDADE CONSTRUTIVA**

---

- Evitar ligações entre componentes de madeira e elementos de outros materiais com diferentes características, nomeadamente ao nível da variação dimensional devido ao comportamento higroscópico.
  - Evitar ligações rígidas nos pontos em que podem ocorrer tensões devido a retracções diferenciais ou assentamentos relacionados com a utilização de componentes com diferentes secções, espécies ou materiais.
  - Evitar ligações entre paredes reticuladas e vigas apoiadas em pilares. As primeiras tendem a assentar enquanto os pilares se mantêm estáveis, sendo grande o risco de fracturas nas ligações entre parede e viga.
  - Evitar ligações entre paredes reticuladas interiores e paredes de alvenaria exteriores (ou intersecções entre umas e outras). As primeiras assentam e as segundas não, provocando tensões nos elementos de ligação.
  - Evitar ligações entre varandas apoiadas simultaneamente em pilares e fachadas. Pode ser produzido um assentamento da fachada (das vigas e vigotas) não acompanhado pelos pilares, produzindo-se uma inclinação da varanda para o interior.
  - Evitar a ligação comum de elementos de capeamento entre uma estrutura de madeira e a estruturas de alvenaria ou de betão. Podem produzir-se deformações dos capeamentos resultando em inclinações indesejadas para o interior.
-



---

#### ESTRATÉGIAS DE INTEGRIDADE CONSTRUTIVA (continuação)

---

- Devem-se utilizar componentes horizontais e verticais do mesmo tipo e da mesma secção para suportar ambas as extremidades de uma viga horizontal.
  - No caso de vigas apoiadas em dois elementos com assentamentos diferenciais pode-se tentar equilibrar o comportamento do conjunto inserindo um elemento suplementar numa das extremidades. No caso de uma viga com um apoio numa parede de betão e outro numa viga de madeira maciça poderá prever-se uma “viga” de igual secção sobre a parede de betão.
  - Nas ligações entre vigas de pavimento em madeira maciça ou do tipo I-Joist com vigas Glulam (no caso das primeiras serem ligadas às segundas por ligadores de suspensão) deve prever-se um maior assentamento das primeiras deixando-se os seus topos um pouco mais elevados que as vigas Glulam, para que quando se der o assentamento, estas fiquem com os topos no mesmo plano.
  - As vigas de pavimento devido a flutuações de humidade tenderão a flectir, “descolando” das ligações com as divisórias interiores. Assim, devem ser previstas juntas que absorvam este movimento e remates que evitem a rotura dos acabamentos e ligações.
  - Evitar que o aparafusamento entre vigas e ligadores de suspensão seja feito a nível superior uma vez que a retracção poderá conduzir à suspensão da viga, com risco de descolamento das fibras na zona dos parafusos superiores.
  - As ligações através de ligadores com linhas longas de parafusos na perpendicular às fibras devem ser evitadas.
  - Nas ligações entre pilar e viga devem evitar-se as linhas de parafusos paralelas ao fio na mesma placa ligadora.
  - A ligação de topo de vigas altas a pilares não devem ser de tal ordem que o mesmo ligador esteja aparafusado a um ponto do pilar e outro da viga com afastamentos entre si superiores a 300mm.
  - Prever o assentamento das vigas de pavimento na colocação dos revestimentos estruturais verticais do exterior (OSB), inserindo juntas entre painéis nas zonas dos tipos das vigas.
  - Conceber preferencialmente os decks e as varandas como estruturas independentes da construção principal, suportadas por pilares exteriores e com apenas uma ligação de junta móvel à envolvente da construção principal, ou instalar meios de ajustamento dos pilares em altura.
  - No caso de serem concebidos decks e varandas ligados à construção principal (que terão em princípio um comportamento diferente), deve-se prever o assentamento diferencial definindo uma inclinação que se mantenha para o exterior após o assentamento.
  - As ligações entre escadas e elevadores com estruturas em betão ou alvenaria devem prever o assentamento da estrutura de madeira pelo que devem ser concebidas em unidades independentes com ligações deslizantes e juntas de cobrimento flexíveis.
  - Evitar penetração de vigas ou outras estruturas do interior para o exterior, perfurando a barreira estanque da envolvente construída.
  - Evitar conjugações de componentes com múltiplas sobreposições de elementos estruturais sujeitos a assentamento e retracção perpendicular ao fio.
  - Prever as juntas recomendadas entre os painéis de revestimento estrutural em pavimentos, paredes e coberturas.
  - Prever as juntas adequadas entre os aros de janelas e portas e os lintéis de modo que absorvam o assentamento previsível da construção.
  - Prever reforços nas telas, através de telas de sobreposição, que cubram as ligações entre componentes de madeira com outros tipos de materiais (paredes de alvenaria ou betão).
  - Quando a madeira é verde (o que pode ocorrer principalmente com porticados de madeira maciça e com os toros maciços) devem prever-se as alterações dimensionais, nomeadamente o assentamento dos elementos construtivos.
  - Evitar os isolamentos térmicos rígidos em paredes de reticulados leves uma vez que estes não acompanham as retracções da estrutura provocando tensões que podem degradar as ligações e a integridade dos elementos estruturais.
  - Prescrever infraestruturas flexíveis para permitir acomodar o assentamento e a retracção da madeira, para evitar roturas.
  - Prescrever em alternativa à madeira maciça derivados de madeira com menor retracção como contraplacados, montantes com entalhes múltiplos, I-Joists e outros elementos compostos, com desempenho adequado ao uso.
  - Prescrever produtos de madeira seca.
  - Deve ser definido um plano de inspecção regular da integridade da estrutura do edifício integrado com o plano de inspecção da durabilidade.
- 

### 6.3.5 AVALIAÇÕES

Depois de estabilizada a concepção do modelo, a avaliação da solução ou das soluções alternativas poderá ser efectuada com o auxílio de uma matriz de avaliação. No caso de apenas se estar perante uma solução, a matriz funcionará apenas como uma lista de análise da satisfação em relação aos requisitos definidos. Quando se pretende escolher entre várias decisões, a matriz funcionará como um instrumento de apoio à decisão.

Para a definição da matriz integram-se os critérios considerados relevantes pelo cliente em conjunto com o Arquitecto, atribuem-se pesos a cada um dos critérios e classificam-se as soluções em relação a cada critério individualmente (cf. Tabela 98).

Tabela 98 - Exemplo de matriz de avaliação de três propostas alternativas.

Matriz de apoio à selecção do tipo estrutural (Opções)		Tipo 1		Tipo 3		Tipo 5	
	Pesos	Avaliação	Pontuação	Avaliação	Pontuação	Avaliação	Pontuação
<b>Exemplos de critérios (Pontos de vista)</b>							
Adequação ao orçamento							
Oferta/conhecimento do tipo estrutural no mercado							
Adequação ao tipo espaço-funcional							
Adequação ao tipo simbólico							
Durabilidade da solução							
Crítérios ambientais							
Sistema voluntário de certificação							
<b>Soma Ponderada</b>							

Com base na solução final do estudo prévio o cliente, apoiado pelo Arquitecto deve solicitar às empresas seleccionadas inicialmente, propostas de orçamento. Estas propostas deverão ser avaliadas com base em critérios que serão eles também definidos caso a caso. Na Tabela 99 apresenta-se uma matriz que integra alguns dos critérios considerados mais importantes na apreciação das propostas.

Tabela 99 - Avaliação de propostas de empresas.

Matriz de apoio à avaliação de propostas (Opções)		Proposta 1		Proposta 3		Proposta 5	
	Pesos	Avaliação	Pontuação	Avaliação	Pontuação	Avaliação	Pontuação
<b>Exemplos de critérios (Pontos de vista)</b>							
Adequação ao orçamento do dono da obra							
Adequação ao prazo limite fixado pelo dono da obra							
Adequação às opções de manutenção previstas pelo dono da obra							
Historial das empresas em projectos similares							
Confiança <sup>301</sup>							
Garantias oferecidas pela empresa quanto ao cumprimento do prazo							
Garantias oferecidas pela empresa quanto aos produtos (e.g. marcação CE ou homologações)							
Adequação à proposta arquitectónica							
Madeira com certificação de origem de floresta com gestão responsável							
<b>Soma Ponderada</b>							

Tal como foi referido no capítulo anterior, sugere-se a utilização de ferramentas específicas de apoio à decisão com critérios múltiplos, como por exemplo o programa MACBETH (Bana e Costa, De Corte, & Vansnick, M Macbeth, 2015) que será utilizado no capítulo seguinte (6.4 Aplicação do método ao caso de estudo) para exemplificar como podem ser efectuadas de forma simples análises e avaliações (cf. Figura 452).

<sup>301</sup> A confiança pode ser expressa por parâmetros como o tempo de actividade da empresa, referências de clientes anteriores, serviços pós venda oferecidos, e impressões da visita a obras em actividade.

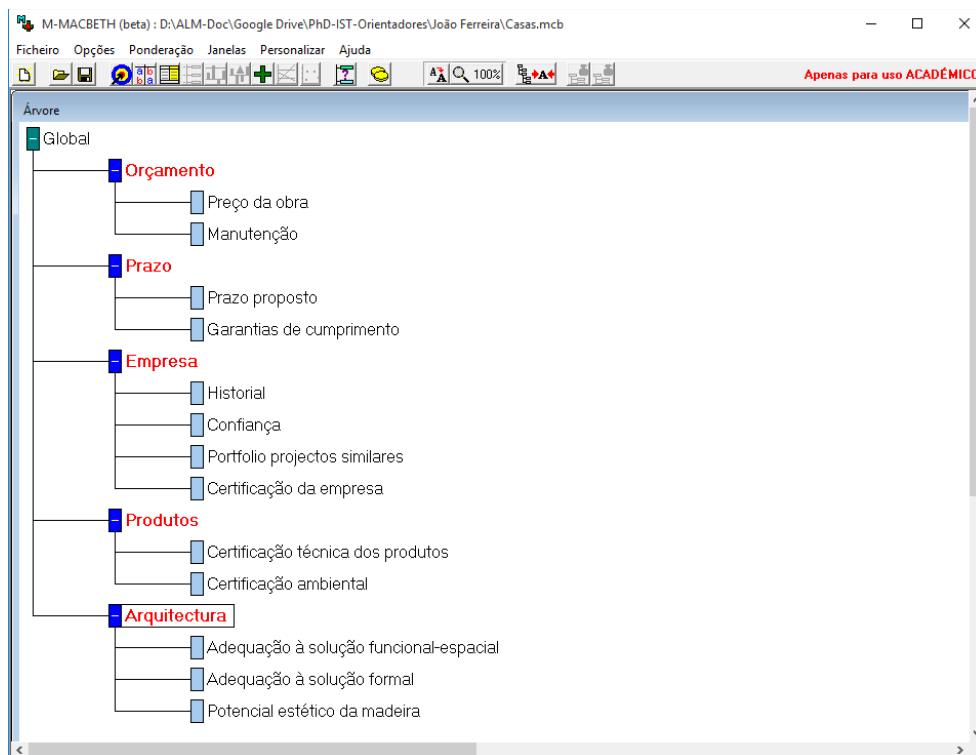


Fig. 452 - Exemplo de árvore de pontos de vista para avaliação das empresas no programa M-MACBETH.

### 6.3.6 INSPECÇÃO PERIÓDICA

Na Tabela 94 de critérios de projecto, no ponto 17 consideraram-se duas hipóteses de transição do estudo prévio para o projecto de execução, já que o projecto base é aqui considerado mais como uma fase legal que de desenvolvimento. Na primeira hipótese, considerou-se que o estudo prévio seria desenvolvido com um nível de detalhe e definições que permitiria a passagem à fase de fabrico, exigindo uma reduzida mobilização de trabalho de projecto de execução. Neste caso faz sentido desenvolver logo ao nível do estudo prévio, e com base nas características do projecto, uma proposta de inspecção periódica.

Na Tabela 100 propõem-se algumas acções de verificação que podem ser desenvolvidas, adaptadas e integradas numa situação particular de projecto. A lista de inspecção periódica será mais qualificada quanto mais contribuições tiver, tanto da empresa fabricante e construtora, como de empresas especializadas na manutenção de produtos de madeira.

Tabela 100 - Bases para um plano de Inspeção periódica (Canadian Wood Council, 2014) (Martins, 2009) (Cruz, 2011) (Honka, 2015).

#### INSPECÇÃO E MANUTENÇÃO PERIÓDICA

- Definir um manual de manutenção com peças desenhadas do projecto, definindo os pontos a inspecionar e a forma de acesso, com o auxílio de especialistas.
- Prever um percurso de inspecção lógico e metódico (por exemplo, do exterior para o interior, da cobertura para o pavimento, no sentido dos ponteiros do relógio, etc).
- Verificar o revestimento das paredes e o estado dos selantes nas juntas. Remover e reaplicar os selantes nos casos de degradação. Aplicar os novos revestimentos apenas após remoção e limpeza dos antigos.
- Verificar o estado das peças sacrificiais, capeamentos e remates.
- Verificar o estado dos elementos estruturais ocultos sob os revestimentos.
- Verificar o estado das bases das paredes (revestimentos de base, tábuas de soleira, primeiro toro).
- Verificar se existem sinais de fungos e determinar a origem da humidade. Os revestimentos com velaturas escuras requerem uma observação mais apurada.
- Verificar se existem sinais de fungos sob os capeamentos (anualmente).

---

**INSPECÇÃO E MANUTENÇÃO PERIÓDICA** (continuação)

---

- Procurar ataques de insectos: orifícios de forma circular ou oval, existência de serrim (carunchos), vestígios de asas soltas, e galerias de térmitas.
  - Em caso de suspeita de ataques biológicos não visíveis, utilizar preferencialmente técnicas não destrutivas na inspecção.
  - Verificar através da percussão (o "som oco" é um indicador), se há componentes atacados nomeadamente nas guarnições do pavimento térreo.
  - Procurar indícios de má conservação traduzidos por vibrações ou deformações de elementos estruturais, manifestados directamente ou indirectamente por fendas e abaulamentos em revestimentos.
  - Raspar as superfícies sobre as quais se tem dúvidas, com um formão ou lâmina, para determinar o tipo de lasca resultante (lascas curtas e enroladas resultam da madeira amolecida provavelmente devido a ataque por fungos).
  - Verificar tectos, paredes e pavimentos de zonas com infraestruturas de águas e esgotos e sujeitas a salpicos.
  - No caso de ser detectado cheiro a mofo, determinar a sua origem.
  - Inspeccionar a madeira não tratada acima do solo em ciclos regulares. Por exemplo 5 anos depois da instalação, e depois a cada dois anos (15 anos e 5 anos, se tratada) (Canadian Wood Council, 2014).
  - Verificar o estado das ligações metálicas e o aperto dos parafusos e procurar eventuais danos (fendas) nas linhas de parafusos.
  - Procurar entradas de água onde surjam indícios de humidade através da oxidação de elementos ligadores metálicos, ou manchas de escorridos.
  - Verificar os elementos de madeira na proximidade de redes de água e esgotos e em espaços onde existem condensações.
  - Inspeccionar as membranas de varandas e decks ciclicamente (10 anos após instalação) (Canadian Wood Council, 2014).
  - Verificar as condições dos espaços de serviço, topos de lajes e caves (pelo menos anualmente).
  - Verificar as juntas entre elementos de madeira e elementos de outros materiais.
  - Verificar se há assentamentos desequilibrados, ou com roturas sobre montantes e pilares, nas entregas de vigas e vigotas, nas intersecções com chaminés e escadas ou paredes de alvenaria, nas intersecções da cobertura com as paredes de toros.
  - Procura de fendas em componentes expostos ao ambiente exterior.
  - Verificar o efeito dos assentamentos em paredes interiores, tectos e mobiliário
  - Verificar o funcionamento e o efeito do assentamento nos vãos de portas e janelas, especialmente nos lintéis e topo das ombreiras.
  - Verificar a fixação das peças de remate, em vãos e intersecções.
  - Inspeccionar as inclinações de pálas, capeamentos, varandas e decks. Determinar se as drenagens das águas estão a ser feitas para os pontos previstos.
  - Fazer uma inspecção complementar num dia de chuva para determinar se há entradas de água especialmente na cobertura.
  - Verificar o estado das caleiras e tubos de queda.
  - Verificar o estado das grelhas de ventilação e remover eventuais obstruções.
  - Verificar os níveis e as inclinações do solo e dos pavimentos exteriores (têm tendência a alterar-se).
  - Verificar se há acumulação de pó, folhas, ramos ou outros detritos nos espaços entre e sob os decks (anualmente).
  - Verificar se os sistemas de rega automática afectam componentes de madeira, especialmente as paredes.
  - Verificar o estado de arbustos e árvores que podem afectar a construção pela proximidade, contacto ou risco de deposição de folhas e resíduos ou de obstrução da ventilação e secagem.
  - Quando necessário recorrer a inspecções profissionais com equipamentos e ensaio (higrómetros, Pilodyn, resistógrafos, ensaios por ultra-sons etc.).
  - Recorrer preferencialmente a um contrato com uma empresa de inspecção e manutenção de estruturas e revestimentos de madeira.
  - Colocar em prática as medidas de tratamento dos problemas detectados: eliminação das fontes de humidade, secagem da madeira, remoção de pinturas, ventilação, limpeza e remoção das madeiras atacadas, tratamentos preservadores curativos ou preventivos.
  - Aplicar nos revestimentos e paredes exteriores um repelente à água e protecção UV, em ciclos de 1-3 anos dependendo da exposição.
  - Aperto de eventuais tirantes (e verificação da verticalidade), e reaperto de parafusos.
  - Limpar caleiras e tubos de drenagem de águas pluviais (no Outono ou antes dos períodos de chuva).
  - Eliminar ramos de árvores, arbustos e vegetação que possam interferir com o bom funcionamento da cobertura.
  - Corrigir fugas dos tubos de águas pluviais e caleiras.
  - Corrigir os níveis e as inclinações do terreno junto às paredes e garantir as drenagens para o exterior.
  - Limpar os paramentos para evitar as zonas propícias ao crescimento de fungos.
  - No caso de repinturas, deve-se ter o cuidado de verificar se a humidade da madeira é inferior a 20%.
-

### 6.3.7 OUTRAS FASES

Como foi antes referido, o estudo prévio pode ser a fase decisiva de um projecto, propondo-se aqui aligeirar as restantes fases através da concentração dos esforços de concepção nas fases de programa base, onde ocorrem as definições tipológicas, e na fase de estudo prévio, onde a solução é desenvolvida com o maior grau de finalização possível.

Poderá no entanto haver outras modalidades que vão mais ao encontro dos projectos tradicionais, aproveitando o projecto base como uma fase adicional de desenvolvimento e o projecto de execução como uma fase onde ainda muitas alterações podem ocorrer.

Seja no primeiro ou no segundo caso, o importante ao nível do projecto de execução, do ponto de vista das preocupações com a durabilidade e com a integridade estrutural que foram contempladas ao nível do estudo prévio é garantir que há uma boa execução dos detalhes na obra. Assim, ainda que muitos pormenores da construção em madeira já estejam tipificados, seja pelas próprias empresas, seja em manuais de construção, institucionais ou não, adaptar ou o reequacionar os detalhes construtivos será uma parte importante do trabalho do Arquitecto na fase da execução. De seguida apresentam-se alguns detalhes construtivos ilustrando alguns dos aspectos que foram tidos em conta nas estratégias de durabilidade e integridade construtiva.

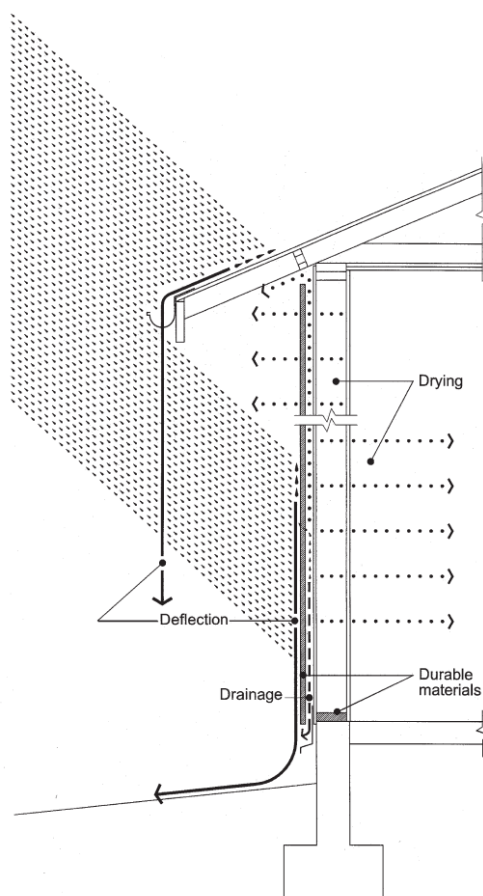


Fig. 453 - Princípios para protecção de entrada de água pela envolvente (American Wood Council, 2006).

### 6.3.8 EXEMPLO DE DETALHES

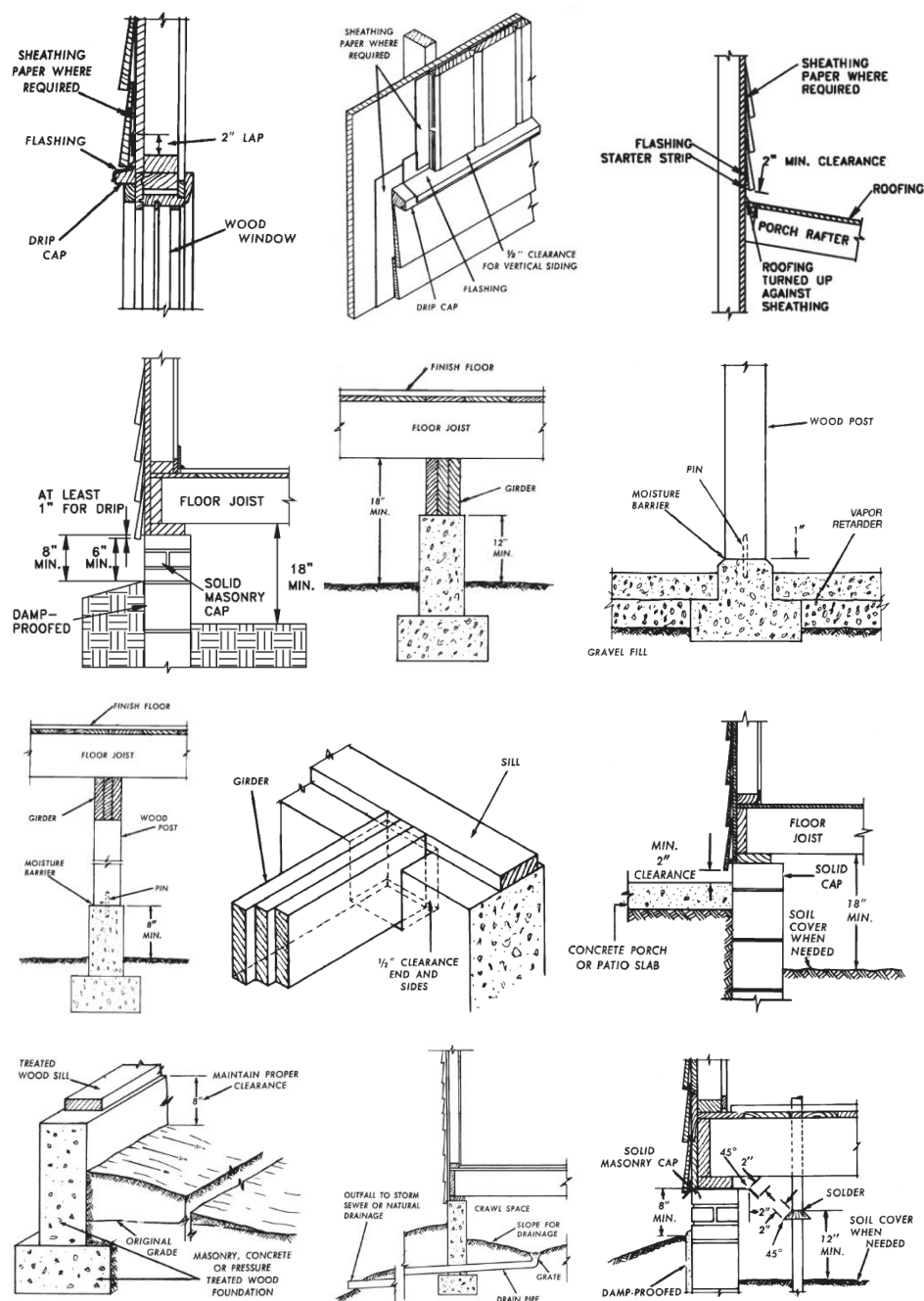


Fig. 454 - Detalhes aplicáveis ao sistema de reticulados leves (American Wood Council, 2006).

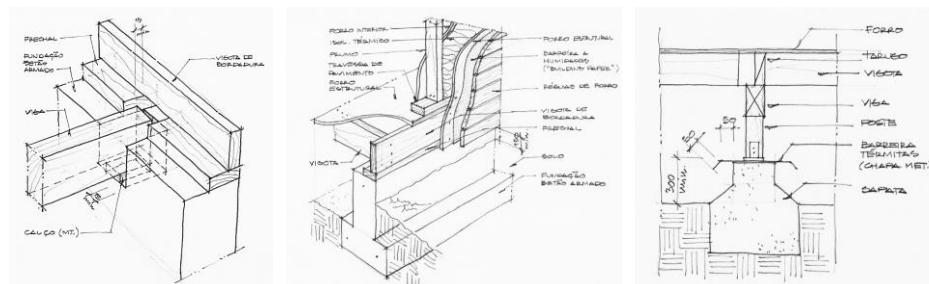


Fig. 455 - Detalhes aplicáveis ao sistema de reticulados leves (Almeida, Pormenorização e protecção por projecto, 2010a).

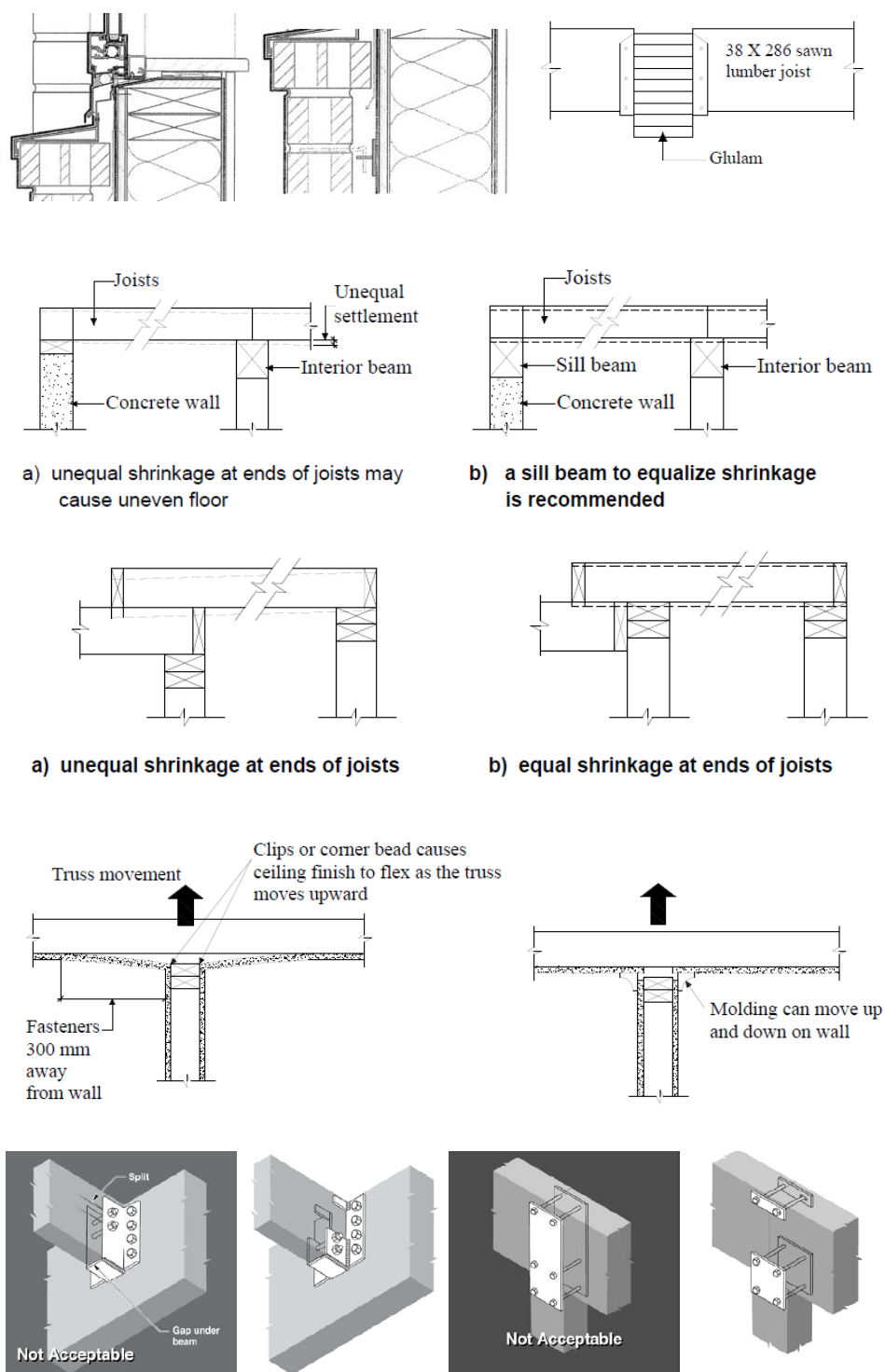


Fig. 456 - Detalhes e preocupações aplicáveis ao sistema de porticados e reticulados (FP Innovations, 2015).

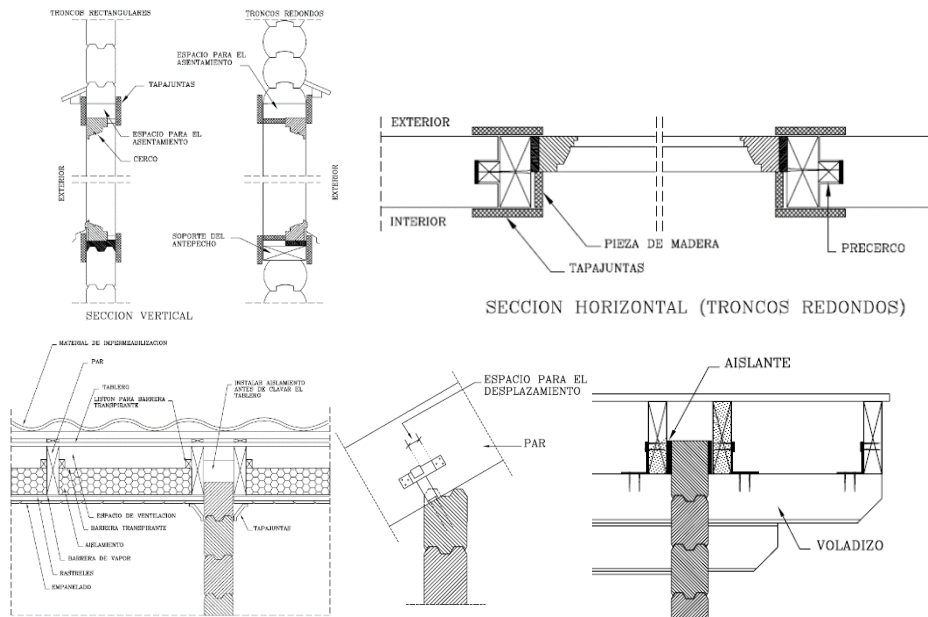


Fig. 457 - Detalhes aplicáveis ao sistema de toros (Peraza Sánchez, et al., 1995).

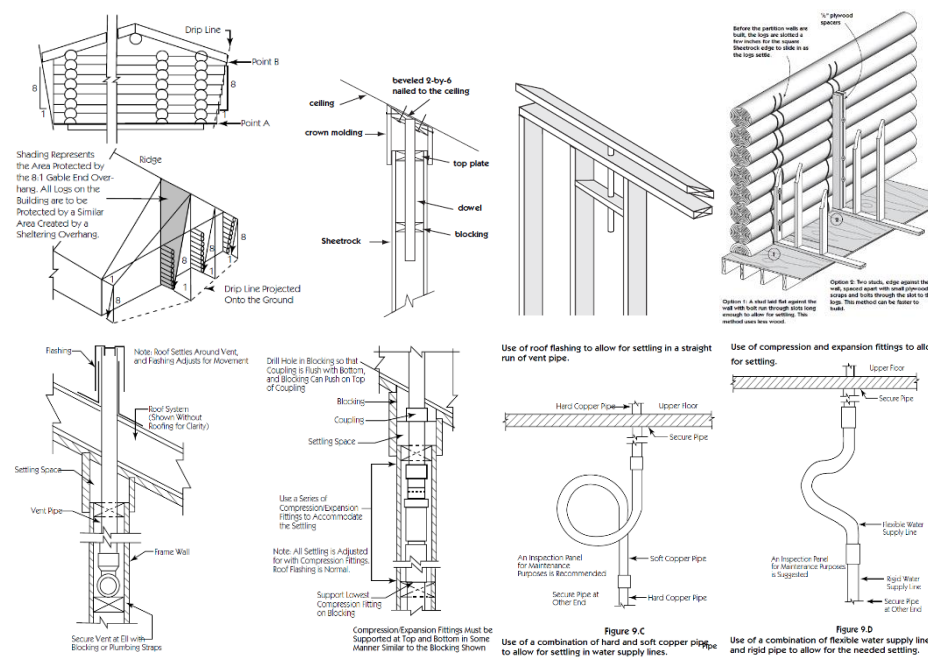


Fig. 458 - Detalhes aplicáveis ao sistema de toros (Musick, 1999).

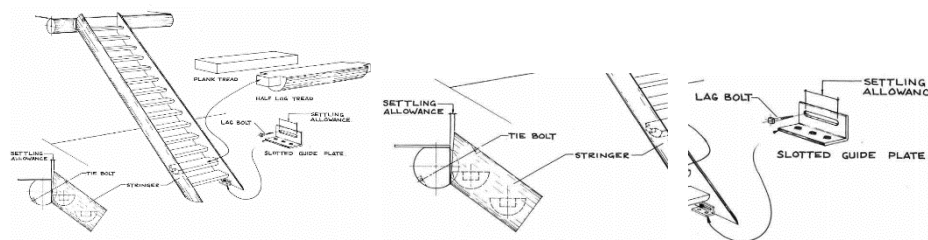


Fig. 459 - Detalhes aplicáveis ao sistema de toros (Milne, 1984).



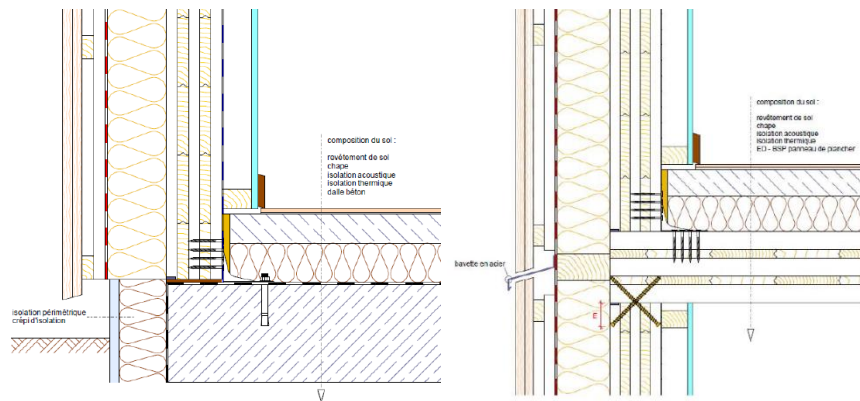


Fig. 460 - Detalhes aplicáveis ao sistema de lamelados colados cruzados - CLT (CSTB, 2012).

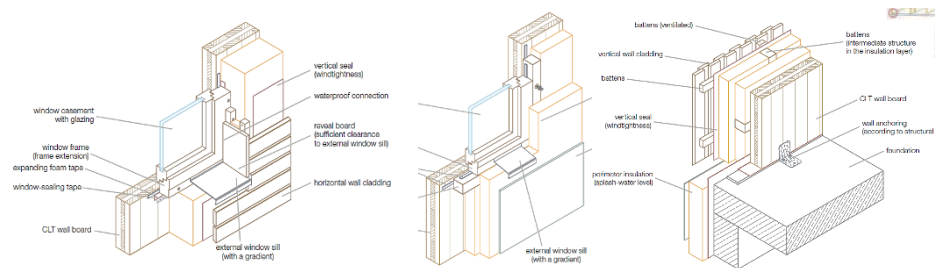


Fig. 461 - Detalhes aplicáveis ao sistema de lamelados colados cruzados (Stora Enso, 2015).

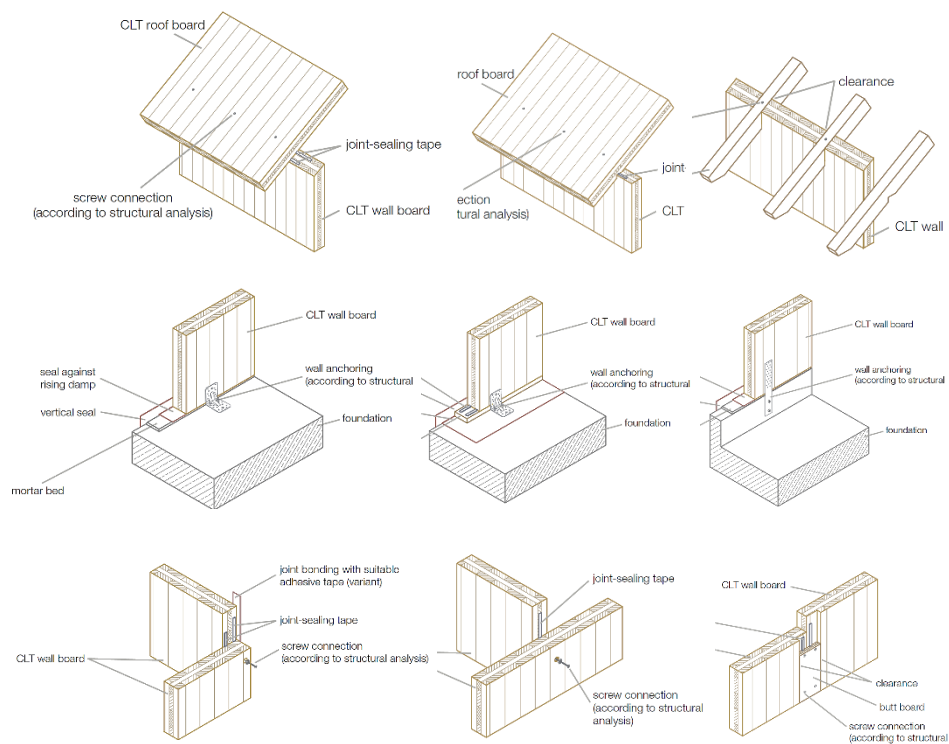
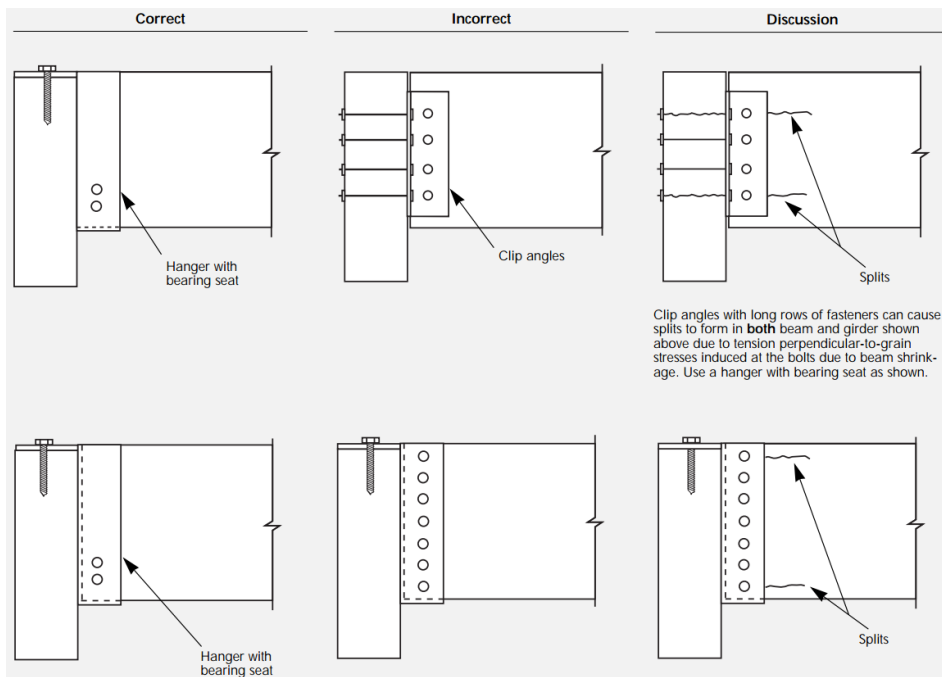
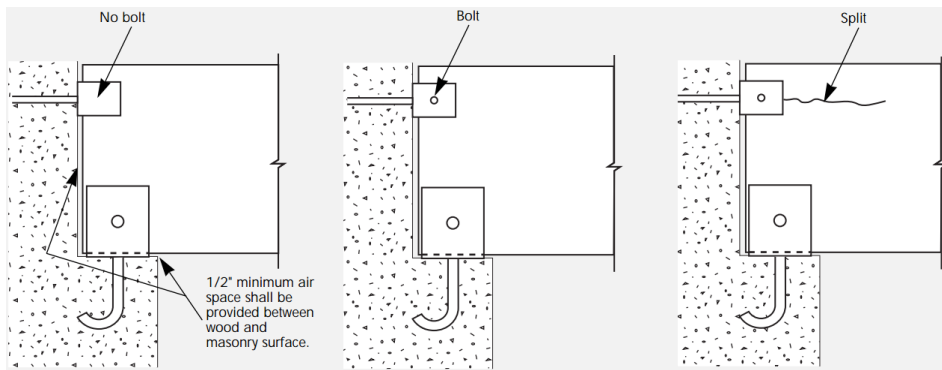
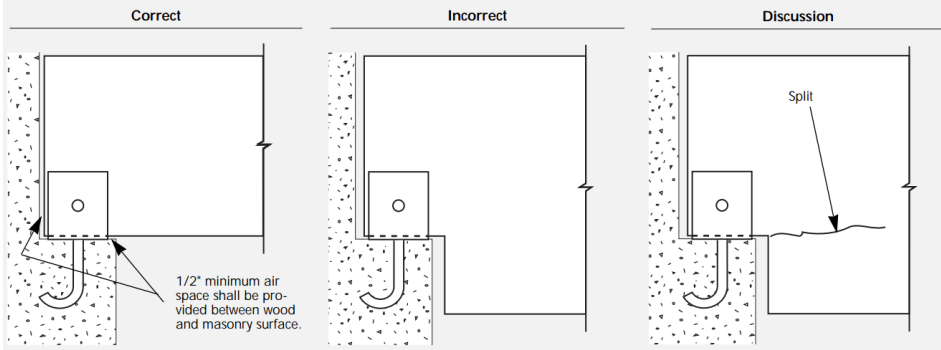
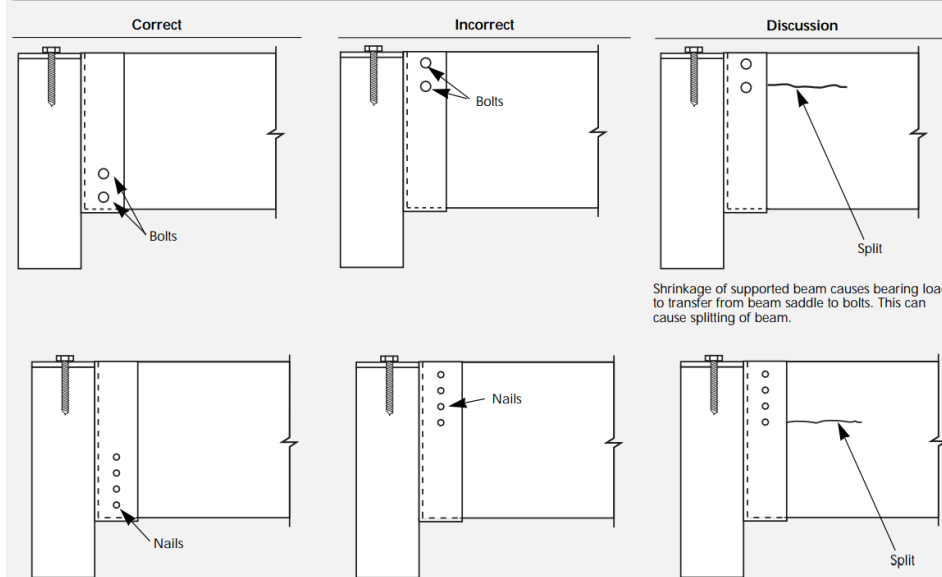


Fig. 462 - Detalhes aplicáveis ao sistema de lamelados colados cruzados (Stora Enso, 2015).

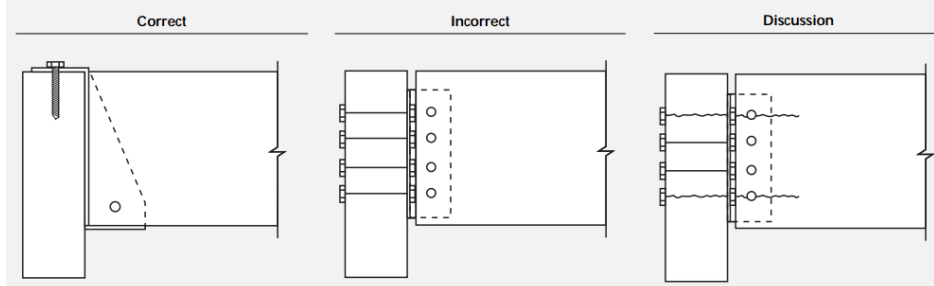
# BEAM-TO-BEARING CONNECTIONS



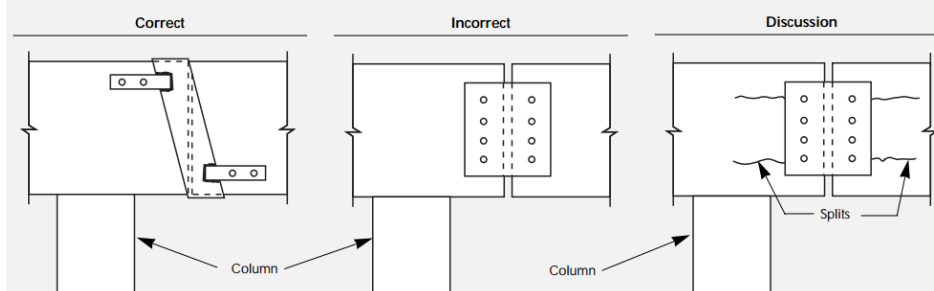
# BEAM-TO-BEAM CONNECTION



## BEAM-TO-BEAM CONNECTIONS – SEMI-CONCEALED USING FISH PLATES



## CANTILEVER BEAM CONNECTION – NO TENSION TIE



## BEAM TO COLUMN – U-BRACKET – WOOD OR PIPE COLUMN

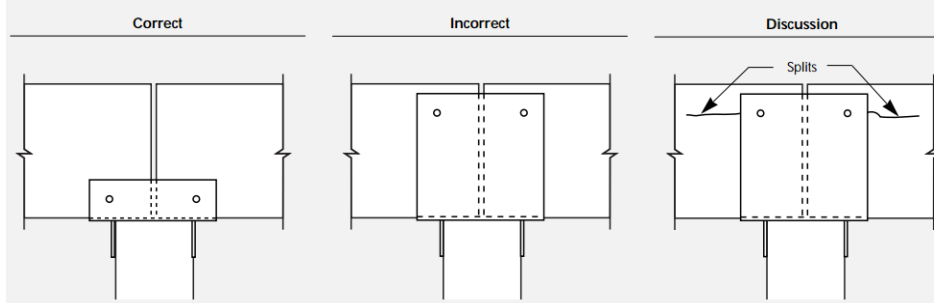


Fig. 463 (Continuação da página anterior) - Outros detalhes para a integridade construtiva aplicáveis principalmente aos sistemas portcados (APA - The Engineered Wood Association, 1999).



Fig. 464 - Tipos estruturais considerados (reticulados leves, porticados, paredes pesadas de toros, painéis pesados de lamelados colados - CLT) e as soluções arquitectónicas: preferencial e em toros (Desenhos do autor).

## 6.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO AO CASO DE ESTUDO

O caso de estudo foi definido no capítulo 5 com o objectivo de informar a proposta de método, pelo que não resultou de uma aplicação directa do método, tendo a maior parte das definições sido efectuada anteriormente à proposta estar concretizada. Assim, neste capítulo pretende-se ensaiar a aplicação do método ao caso de estudo com incidência nos procedimentos que não foram abordados durante o desenvolvimento do caso de estudo, nomeadamente as avaliações e decisões de escolha dos sistemas estruturais.

### 6.4.1 PROGRAMA

O processo utilizado na definição do programa remete para o capítulo 5.1. (Definição do caso de estudo) onde foram estabelecidas as exigências de uso, recolhidos os principais dados do contexto e apontado um limite orçamental, para além da análise dos principais regulamentos aplicáveis. As prioridades fixadas nos critérios de decisão apontavam genericamente para a seguinte ordenação: 1)Arquitectura, 2)Durabilidade, 3)Comportamento, 4)Preço, 5)Prazo, 6)Ambiente. O preço deveria estar limitado por um valor de 947 Euros/m<sup>2</sup> e o prazo de construção não deveria ultrapassar os 6 meses. De seguida foi possível definir as características do tipo funcional, com base num programa cuja área útil totalizava 162,28 m<sup>2</sup> (cf. Tabela 55), para o qual se considerou uma área bruta total de 200m<sup>2</sup>. O valor limite de preço em relação a essa área seria 189.400Euros.

O tipo espacial escolhido foi definido com as características básicas de um “tipo simples”, ou seja com um planta rectangular, um perímetro linear, e sem desníveis a integrar no terreno, mas a presença de uma varanda, uma pala, um terraço coberto e as projecções da cobertura estabeleceram-no como um “tipo intermédio”.

Uma vez que foi considerado haver uma margem orçamental para admitir um preço mais elevado decidiu-se que a proposta, para além de prever uma ampliação das áreas habitáveis (conforme proposta de evolutividade - cf. Figura 352), deveria ser construída de início com uma solução estrutural que tivesse em consideração a utilização do espaço sob a cobertura. Assim, foi definido um pavimento de sótão que poderia no futuro converter-se numa área habitável.

Nesta fase, segundo o método, deveriam obter-se informações sobre preços de referência. Verificou-se que os preços indicativos que podem ser obtidos são muito variados, razão pela qual as empresas não apreciam dar referências com base em preços por m<sup>2</sup>, sem terem

**LISTA DE PREÇOS CATÁLOGO**

Estas são apenas algumas das nossas sugestões. Cada caso é um caso, podemos adaptar-nos ao seu, tanto a nível arquitectónico como a nível do sistema construtivo.

Tel: +351 251 700 900 Fax: +351 251 700 909 E-mail: info@rusticasa.pt www.rusticasa.com

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS**

Tronco 7 Sistema Clivis Tronco 7 Isolado Post & Beam Tronco 12 Tronco 16 ou Tronco 12 Isolado

**Planta Área (m²)**

Planta	Área (m²)	Tronco 7	Sistema Clivis	Tronco 7 Isolado	Post & Beam	Tronco 12	Tronco 16 ou Tronco 12 Isolado
Horizonte	76	€ 85.680	€ 83.850	€ 85.680	€ 85.680	€ 85.680	€ 85.680
Mar	196	€ 118.470	€ 123.450	€ 118.470	€ 118.470	€ 118.470	€ 118.470
Coral	119	€ 87.100	€ 89.720	€ 87.100	€ 87.100	€ 87.100	€ 87.100
Fior	158	€ 99.150	€ 103.260	€ 99.150	€ 99.150	€ 99.150	€ 99.150
Splenda	186	€ 92.990	€ 96.890	€ 92.990	€ 92.990	€ 92.990	€ 92.990
Linha	144	€ 94.430	€ 97.680	€ 94.430	€ 94.430	€ 94.430	€ 94.430
Nau	158	€ 118.800	€ 113.540	€ 118.800	€ 118.800	€ 118.800	€ 118.800
Terra	163	€ 98.540	€ 102.680	€ 98.540	€ 98.540	€ 98.540	€ 98.540
Rustica 280	279,91	€ 165.510	€ 168.280	€ 165.510	€ 165.510	€ 165.510	€ 165.510
Natura 226	225,62	€ 147.870	€ 143.910	€ 147.870	€ 147.870	€ 147.870	€ 147.870
Rustica 203	201,34	€ 136.740	€ 133.210	€ 136.740	€ 136.740	€ 136.740	€ 136.740
Montana 173	178,08	€ 90.290	€ 87.910	€ 90.290	€ 90.290	€ 90.290	€ 90.290
Nórdica 189	186,03	€ 103.280	€ 111.900	€ 103.280	€ 103.280	€ 103.280	€ 103.280
Nórdica 148	148,72	€ 88.070	€ 96.030	€ 88.070	€ 88.070	€ 88.070	€ 88.070
Montana 128	127,84	€ 62.270	€ 73.460	€ 62.270	€ 62.270	€ 62.270	€ 62.270
Vereda 96	96,12	€ 63.520	€ 69.430	€ 63.520	€ 63.520	€ 63.520	€ 63.520
Natura 85	85,19	€ 43.020	€ 47.170	€ 43.020	€ 43.020	€ 43.020	€ 43.020
Novada 63	62,81	€ 21.620	€ 26.080	€ 21.620	€ 21.620	€ 21.620	€ 21.620
Refugio 55	55,95	€ 25.960	€ 28.650	€ 25.960	€ 25.960	€ 25.960	€ 25.960
Eco 47	47,81	€ 22.500	€ 24.830	€ 22.500	€ 22.500	€ 22.500	€ 22.500
Eco 25	25	€ 12.360	€ 13.720	€ 12.360	€ 12.360	€ 12.360	€ 12.360

**Inclui:** - Materiais e sua montagem até 100Km (distâncias superiores sujeito a orçamento) conforme Condições Gerais de Venda.

**Não inclui:** - IVA;  
- Instalações eléctricas e de telecomunicações, instalação sanitária (bacias e canalizações) - preços sob consulta;  
- Infraestruturas, tal como bases em concreto, sistemas de recolha de águas, electrodutos, gás, saneamento, pisos exteriores (pavimentos, terraços);  
- Lareira, chaminé ou outro tipo de aquecimento, móveis de cozinha, processo de licenciamento da obra.

**Nota:** qualquer dos Sistemas Construtivos estão sujeitos a verificação do cumprimento RCCTE.

**Rusticagaram 32m² | € 8.810**  
Inclui montagem. Não inclui instalação eléctrica.

**Espequeiro 36 (6x6) | 20,10m² | € 9.710**  
Não inclui transporte, montagem, locais de casa de banho, instalações eléctricas e sanitárias, cobertura e pintura exterior.

Fig. 465 - Catálogo e lista de preços da empresa Rusticasa.

presente um projecto. Obteve-se no entanto uma ordenação indicativa dos preços (Tabela 101), cujo valor relativo pode ser considerado confiável uma vez que esses foram obtidos a partir dos valores contidos numa tabela de projectos de catálogo de uma única empresa (cf. Figura 465), apesar de se terem consultado várias. A ordenação obtida foi a seguinte por ordem crescente do preço: reticulados leves, paredes de toros, porticados e painéis CLT. A solução de paredes leves de pranchas consta da tabela, mas não foi considerada no caso de estudo.

Tabela 101 - Tabela de ordenação do tipo estrutural segundo o critério económico.

Sistemas construtivos	Intervalo de preços de referência x€/m2
Reticulados leves	605 - 655 Euros/m2*
Porticados	636 - 688 Euros/m2*
Paredes pesadas de toros	609 - 660 Euros/m2*
Painéis pesados CLT	800 - 880 Euros/m2***
Paredes leves de pranchas	850 - 950 Euros/ m2 **

\* Preços extrapolados a partir de preços de soluções de catálogo da Rusticasa (e de consultas directas). Estes preços não incluem infraestruturas de electricidade, casas de banho, cozinhas, lareiras, chaminés e laje de piso térreo (Rusticasa, 2015).

\*\* Valor indicativo da construção global fornecida por outra empresa (Casema, 2015).

\*\*\* Outras empresas forneceram preços mais baixos na solução de painéis pesados (650-750 Euros/ m²).

No caso de estudo, as opções relativas ao tipo simbólico remetiam para uma estética que deveria expressar “os valores da contemporaneidade”, “urbana e não rústica”, com uma relação contida com o exterior, manifestando-se ainda a preferência por uma cobertura inclinada em vez de cobertura plana. As decisões tomadas seguiram algumas das recomendações da tabela de apoio à selecção do tipo simbólico (cf. Tabela 85) proposta no capítulo 6.2 (Definição do programa), nomeadamente as que direccionam as condicionantes indicadas para o “tipo contemporâneo” e para os subtipos “urbano” e “introvertido”. Durante o processo de definição do tipo simbólico foi efectuada uma recolha de obras segundo o quadro tipológico definido (cf. Tabela 86), seleccionando-se aquelas que pudessem servir como referência à solução a desenvolver no estudo prévio (cf. Figura 466).



Fig. 466 - Projectos de referência. Summer House In Southern Burgenland de Judith Benzer, Cottages em Marlboro College campus in Marlboro, Vermont de HGA Architects, e Architektur Haus für Julia und Björn de Innauer-Matt Architekten (<http://www.contemporist.com/2015/03/18/contemporized-classic-vermont-cottages/>).

Ao nível do programa e uma vez que com base no critério preço não foi efectuada nenhuma exclusão, poderia ter-se efectuado uma análise com base nos factores indicados na tabela de apoio à selecção do tipo estrutural (cf. Tabela 87), bem como na tabela de apoio à selecção com base nos tipos simbólicos potenciais (cf. Tabela 88), apresentadas no capítulo 6.2 (Definições do programa). Estas definições poderiam nesse momento ter levado a excluir a solução de paredes de toros pesados, principalmente com base na contradição entre as características próprias do sistema e as do tipo simbólico definido como preferencial. Porém, como foi referido, o objectivo do caso de estudo consistia em considerar os quatro sistemas estruturais (reticulados, porticados, paredes de toros e painéis CLT) para identificar os seus requisitos de projecto.

#### 6.4.1.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO TIPO ESTRUTURAL

De seguida o método proposto previa uma avaliação preliminar para permitir uma primeira apreciação dos tipos estruturais considerados. Escolheu-se como ferramenta de apoio à decisão o programa informático M-MACBETH (Bana e Costa, De Corte, & Vansnick, M Macbeth, 2015) por permitir de forma simples introduzir dados, e obter resultados. Esta avaliação prévia é importante não só por permitir a selecção dos tipos estruturais a desenvolver na fase de estudo prévio, mas também porque permite estruturar já um contexto de decisão útil para definir também os pontos de vista e os critérios para a avaliação que deverá ocorrer também quando depois se avaliarem as soluções já desenvolvidas.

Foram estruturados os pontos de vista e identificados os critérios a incluir na análise tendo como ponto de partida a matriz proposta no capítulo 6.2 (Programa base) (cf. Tabela 89). Os pontos de vista que constavam da tabela incluíam: o preço, a adequação aos tipos funcionais e espaciais, a adequação ao tipo simbólico, o potencial arquitectónico da madeira, a durabilidade, o comportamento higrotérmico, a estanquidade, o ambiente e o prazo. Na estruturação dos critérios para avaliar os tipos estruturais, decidiu-se agregar os critérios de “adequação” aos tipos funcional, espacial e simbólicos num só. Incluiu-se um critério para o “potencial arquitectónico da madeira”, uma vez que se considerou importante escolher um sistema que ao nível do estudo prévio permitisse retirar partido do potencial estético das estruturas de madeira. A durabilidade, o comportamento higrotérmico e a estanquidade foram agrupados num único critério que se designou por “comportamento”. Foi decidido também incluir-se o critério do comportamento ambiental ainda que à partida todas as soluções já fossem consideradas ambientalmente interessantes. Finalmente decidiu-se que nesta fase o preço não estaria incluído como um dos critérios, sendo antes objecto de uma análise custo-benefício com base nos valores de referência que se obtiveram anteriormente (cf. Tabela 101). O prazo não foi incluído porque todas as empresas consultadas referiram conseguir concluir a construção em menos dos seis meses considerados nas condicionantes de projecto para a duração limite da obra, apontando para uma duração de obra de 3 meses.

Recorrendo ao método MACBETH, consideraram-se os quatro sistemas estruturais como sendo as quatro “opções” a ter em conta como alternativas de decisão, às quais se juntaram





Fig. 467 - Programa M-MACBETH, com os pontos de vista, a tabela de “performances” e a tabela de pontuações.

os respectivos custos. Estes consistiram nos valores médios dos intervalos obtidos como referência: 630 Euros/m<sup>2</sup> para os reticulados, 634,5Euros/m<sup>2</sup> para as paredes de toros, 662 Euros/m<sup>2</sup> para os Porticados e 840 Euros/m<sup>2</sup> para os painéis CLT.

Construiu-se uma “árvore” de decisão muito simples (cf. Figura 467), com apenas quatro “nós” com os pontos de vistas (ou seja os critérios) já referidos (adequação ao tipo simbólico, expressão da madeira, comportamento e ambiente). Poderia ter-se considerado uma árvore de decisão mais completa e complexa (como por exemplo a da Figura 452), mas neste caso pretendeu-se apenas exemplificar uma abordagem geral ao método e às soluções e não aos múltiplos aspectos particulares de cada tipo estrutural em cada contexto. Todas as propriedades dos nós foram definidas como tendo uma base de comparação através de “níveis qualitativos de performance”<sup>302</sup>. Foram definidos cinco níveis qualitativos de “performance”: muito bom, bom, suficiente, fraco e nulo. Foram depois ordenados os critérios em função da ordem de atractividade considerada: 1.º adequação ao tipo simbólico; 2.º expressão da madeira; 3.º comportamento; e 4.º ambiente. Decidiu-se depois propor uma escala numérica que estabelecesse uma diferença de atractividade expressa numa escala de pesos com os seguintes valores: Comportamento 35, Adequação ao tipo simbólico 30, Expressão da madeira 25, e Ambiente 10.

Na fase seguinte atribuíram-se as “performances” a cada opção do modelo. Esta atribuição foi efectuada com apoio numa tabela de critérios e níveis de “performance” (cf. Tabela 102) onde se descreveram as respostas correspondentes a cada nível. Assim definiram-se através de requisitos gerais, em cada critério os níveis “bom” e “suficiente” e considerou-se que o nível “muito bom” corresponderia a uma resposta superior à de “bom” e o nível “fraco” corresponderia a uma resposta não satisfatória e inferior à categoria de “suficiente”.

Adoptando os níveis de “performance” e as suas descrições em cada critério, atribuiu-se então a cada opção (sistema construtivo) um nível de “performance” (cf. Tabela 103). Para o critério “adequação ao tipo simbólicos” consideraram-se todas as soluções como boas (B), à excepção dos toros (S) que exigem uma alteração significativa do carácter pretendido para a solução. Para o critério “expressão da madeira” que pretendia medir a possibilidade de introduzir aspectos inovadores relacionados com a madeira na fase de estudo prévio, valorizaram-se os toros (MB) e desvalorizaram-se os reticulados (S). Para o critério “comportamento”, os painéis CLT foram muito valorizados, desvalorizando-se os toros devido aos riscos próprios do assentamento normal da construção, desvalorizando-se também, embora menos, os reticulados. No critério ambiental, ainda que se assuma que esta avaliação é discutível, valorizaram-se as opções que reúnem um melhor desempenho nos seguintes factores: fomento do uso da madeira e sequestro do carbono, redução de resíduos em obra pelo elevado grau de industrialização, redução da necessidade de tratamento químico e optimização dos consumos energéticos através das soluções construtivas.

<sup>302</sup> Decidiu manter-se a expressão “performance” (desempenho), utilizada no contexto do método MACBETH pelos seus autores.

Tabela 102 - Tabela de critérios e níveis de "performance".

<b>Prioridade dos critérios de decisão</b>		
<b>Crítérios</b>	<b>Nível de "Performance"</b>	<b>"Performance"</b>
Comportamento	Bom	A solução estrutural/construtiva pelas características dos seus elementos e componentes minimiza as fragilidades da madeira e os riscos associados ao seu comportamento típico.
	Suficiente	A solução estrutural/construtiva apesar de integrar as fragilidades típicas da madeira permite, com recurso a disposições construtivas minimizar as fragilidades da madeira e os riscos associados ao seu comportamento típico.
Adequação ao tipo simbólico	Bom	A solução estrutural/construtiva adequa-se ao tipo simbólico pretendido sem obrigar a alterações que modifiquem o seu carácter.
	Suficiente	A solução estrutural/construtiva exige que sejam efectuadas alterações ao tipo simbólico pretendido, com alterações de pormenor ao seu carácter.
Expressão da madeira	Bom	A solução estrutural/construtiva apresenta características que valorizam singularmente a Arquitectura através da expressão estrutural da madeira.
	Suficiente	A solução estrutural/construtiva apresenta características que permitem a valorização da Arquitectura apenas através de alguns aspectos particulares.
Ambiente	Bom	A solução estrutural/construtiva pelas características dos seus elementos e componentes promove o uso da madeira e o sequestro do carbono, reduz os resíduos em obra, soluciona de forma óptima a envolvente construída e evita a utilização de produtos químicos para tratamento.
	Suficiente	A solução estrutura/construtiva não tem um papel tão importante no fomento do uso da madeira e no sequestro do carbono, podendo implicar a produção de resíduos em obra e o uso de tratamentos químicos, não proporcionando naturalmente soluções energeticamente óptimas.

Tabela 103 - Tabela de "performances".

	<b>Adaptação ao tipo simbólico</b>	<b>Expressão da madeira</b>	<b>Comportamento</b>	<b>Ambiente</b>
<b>Reticulados</b>	B	S	S	S
<b>Porticados</b>	B	B	B	B
<b>Toros</b>	S	MB	F	B
<b>CLT</b>	B	B	MB	MB

Foi então gerada pelo programa M-MACBETH uma tabela de pontuações onde se evidenciaram pela positiva os painéis CLT seguidos dos porticados. O primeiro sistema beneficiou de uma melhor pontuação no critério "ambiente" e no critério "comportamento". Os reticulados ficaram claramente prejudicados por classificações menos boas nos critérios da "expressão da madeira", do "comportamento" e do "ambiente". Já os toros perderam pontuação nos aspectos do "comportamento" e da "adaptação ao tipo simbólico".

Tabela 104 - Tabela de pontuações M-MACBETH.

<b>Opções</b>	<b>Global</b>	<b>Adaptação ao tipo simbólico</b>	<b>Expressão da madeira</b>	<b>Comportamento</b>	<b>Ambiente</b>
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>CLT</b>	<b>87.50</b>	75.00	75.00	100.00	100.00
<b>Porticados</b>	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
<b>Reticulados</b>	57.50	75.00	50.00	50.00	50.00
<b>Toros</b>	55.00	50.00	100.00	25.00	75.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos:		0.3000	0.2000	0.3500	0.1500



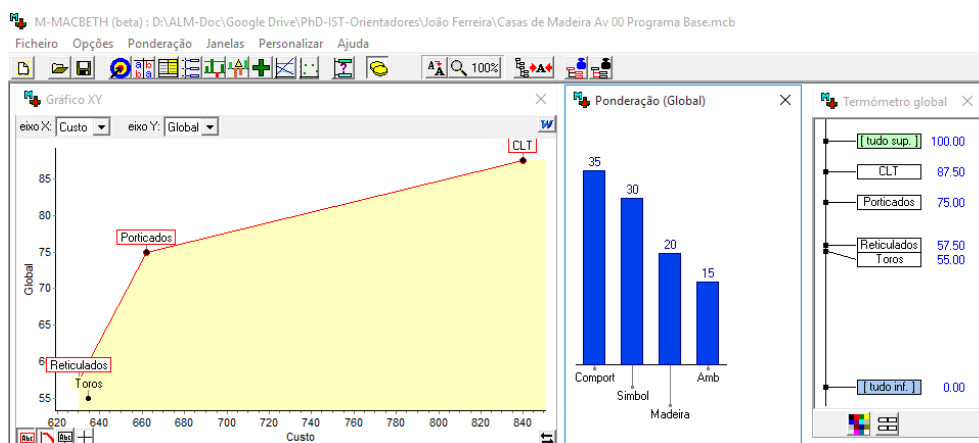


Fig. 468 - Programa M-MACBETH, com gráfico de análise custo-benefício das soluções, gráfico de ponderação global e termómetro global de pontuações.

Finalmente foi possível, com base nos valores de preços introduzidos obter automaticamente uma análise custo-benefício onde através de um gráfico (cf. Figura 468) se pode concluir que o sistema de toros se encontra fora da “fronteira de eficiência”. Esta avaliação permitiria com alguma segurança eliminar os toros e os reticulados poupando esforços no desenvolvimento da fase seguinte. No entanto, como era objectivo do caso de estudo desenvolver uma solução de projecto para cada um dos quatro sistemas construtivos, todos eles foram seleccionados para a fase de estudo prévio (cf. Figura 469). A selecção de todos os sistemas construtivos tem também a vantagem de permitir exemplificar os procedimentos de avaliação das soluções arquitectónicas de um modo mais completo.

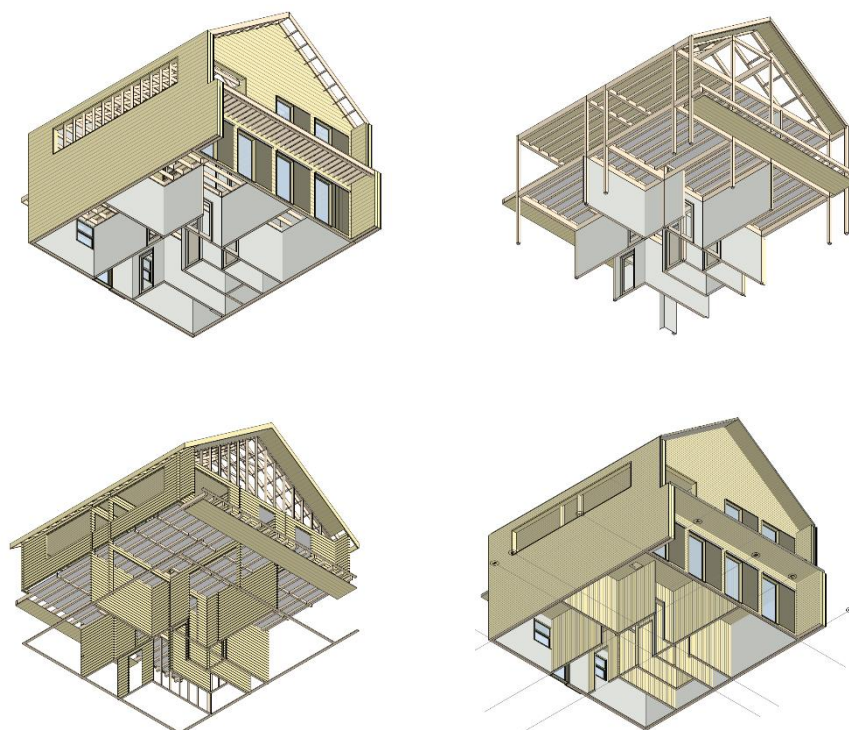


Fig. 469 - Axonometrias inferiores mostrando aspectos arquitectónicos dos diferentes sistemas construtivos (Desenhos do autor).

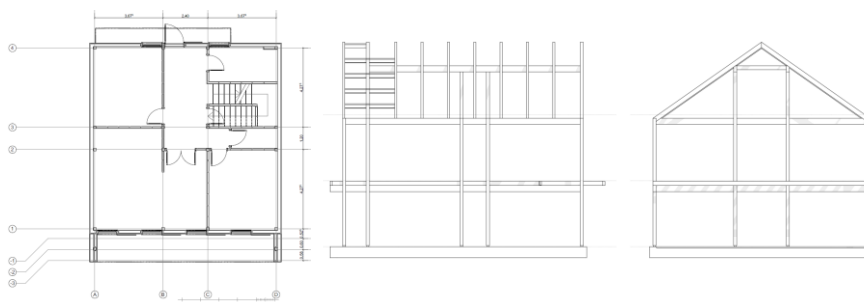


Fig. 470 - Integração entre a estrutura e a Arquitectura no Estudo prévio da solução de porticados (Desenhos do autor).

#### 6.4.2 ESTUDO PRÉVIO

Antes de testar a integração dos sistemas estruturais numa solução arquitectónica (cf. exemplo dos porticados na figura 470), o desenvolvimento do estudo prévio incluiu o teste de duas soluções espaciais, uma com um volume compacto de planta quadrada e um outro com base numa planta rectangular. Em cada uma das soluções foi testado um modelo de evolutividade, tendo-se de seguida desenvolvido soluções formais testando a integração das várias definições tipológicas simbólicas consideradas (capítulo 5.1 - Definição do caso de estudo). Este processo correspondeu basicamente ao desenvolvimento de uma concepção formal genérica sem ter em conta especificamente uma solução estrutural. De seguida, com base na solução formal seleccionada, desenvolveram-se as quatro alternativas construtivas.

Numa situação de projecto real, provavelmente nem o teste de uma solução com todos os tipos variantes simbólicos nem a integração de todas as soluções estruturais fariam sentido. O processo de avaliação efectuado ao nível do programa base tem precisamente a função de efectuar uma selecção de um tipo simbólico e um ou dois tipos estruturais.

As definições de projecto para o desenvolvimento de cada solução construtiva deveria seguir o processo explicitado no capítulo anterior (capítulo 6.3 Definição do estudo prévio): solução formal (recorrendo às estratégias definidas com base nos critérios prioritários definidos no Programa base), recolha e interpretação de informação para a definição da solução construtiva, escolha de soluções particulares, definição de grelha estrutural, definição de plantas estruturais de pavimentos, pré definição de características da envolvente, definições tridimensionais da estrutura, identificação de soluções construtivas problemáticas, análise e revisão, identificação de problemas de durabilidade, análise e revisão, definição da solução construtiva provisória, eventual revisão e definição da solução arquitectónica, avaliação, consulta a empresas fabricantes/ construtoras, e solução final.

Ao longo do desenvolvimento do tipo estrutural deveriam ser seguidas estratégias de economia, de durabilidade e de integridade construtiva, com um grau de importância tanto maior quanto maior fosse a importância destes critérios para o cliente.

##### 6.4.2.1 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO ARQUITECTÓNICA

Uma vez estabilizada uma solução arquitectónica, e já depois de uma consulta às empresas que permite obter uma estimativa de custo mais realista de cada uma das soluções, deve ser efectuada a sua avaliação, tendo como referência o sistema construtivo. Para tal foram estruturados os pontos de vista e identificados os critérios a incluir na análise. Concluiu-se que o critério mais importante deveria designar-se por "Arquitectura", agregando a "adequação ao tipo simbólico" e o "grau de satisfação" proporcionado. O segundo critério mais importante deveria incidir sobre o comportamento técnico da solução, juntando as várias exigências (comportamento estrutural, higrotérmico, higrométrico, e de estanquidade) sob a

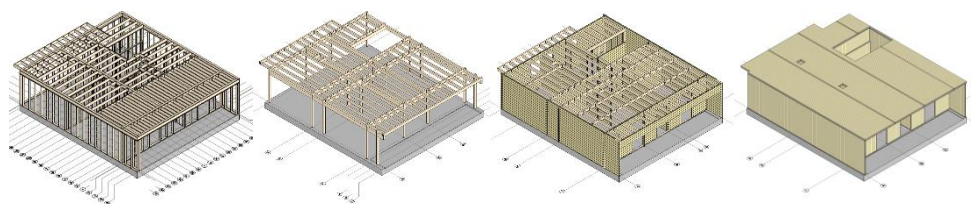


Fig. 471 - Estrutura do primeiro piso dos quatro sistemas construtivos (Desenhos do autor).

designação de “durabilidade” para que se avaliasse fundamentalmente a capacidade de cada sistema ultrapassar as limitações naturais da madeira. O terceiro critério considerado foi o “preço” uma vez que há diferenças significativas entre sistemas e em caso de igualdade nos restantes critérios este deveria poder estabelecer uma diferenciação objectiva. O último critério, embora com peso reduzido deveria ser o “ambiente”, permitindo distinguir os sistemas através das características mais óbvias de comportamento ambiental da madeira. Uma avaliação mais rigorosa exigiria a ramificação destes nós, com a inclusão de muitos outros critérios, mas uma vez que se pretende apenas exemplificar a potencialidade do método, pretendeu-se manter a estrutura da avaliação o mais simples possível.

Recorrendo ao método MACBETH, consideraram-se as quatro “opções” a ter em conta como alternativas de decisão e construiu-se a correspondente “árvore” de decisão. Os nós Arquitectura, Durabilidade e Ambiente foram definidos com tendo uma base de comparação de “níveis qualitativos de performance”, enquanto o critério preço foi definido com uma base de comparação de “níveis quantitativos de performance”. Para os primeiros nós foram utilizados os cinco “níveis qualitativos de performance” definidos na fase de programa: Muito Bom, Bom, Suficiente, Fraco e Nulo. Para o nó Preço, definiram-se dois “níveis quantitativos de performance”: como “referência superior” foi definido o preço mínimo do sistema de reticulados (186.890 Euros) e como “referência inferior”, o preço obtido como referencial das avaliações bancárias obtido no programa prévio ( $947 \text{ Euros} \times 318 \text{ m}^2 = 301.146 \text{ Euros}$ ). Foi depois elaborada uma escala de pontuação mantendo os “níveis de performance” numa escala de intervalos constantes.

De seguida foi efectuada a ordenação dos pesos dos critérios através da definição da ordem de atractividade já referida (1.º Arquitectura, 2.º Durabilidade, 3.º Preço, 4.º Ambiente). Foi depois possível efectuar uma avaliação das diferenças de atractividade entre cada referência global (critérios). Uma vez concluído este processo foi possível obter automaticamente uma escala de pesos MACBETH com os seguintes valores: “Arquitectura” 48, “durabilidade” 32, “preço” 16, “ambiente” 4.

Na fase seguinte atribuíram-se as “performances” a cada opção do modelo (cada um dos sistemas construtivos). A atribuição de preços a cada sistema construtivo consistiu apenas na introdução dos valores fornecidos pelas empresas: 186.890 Euros para os reticulados, 187.920 Euros para as paredes de toros, 195.380 Euros para os Porticados e 246.290 Euros para os painéis CLT.

Tal como para a fase de programa, a atribuição de “performances” exigiu a prévia descrição da resposta esperada em cada nível de “performance”. Assim definiram-se primeiro, através de requisitos gerais, em cada critério os níveis “bom” e “suficiente” e considerou-se que o nível “muito bom” corresponderia a uma resposta superior à de “bom” e o nível “fraco” corresponderia a uma resposta inferior e não satisfatória à categoria de “suficiente” (cf. Tabela 105 - Tabela de critérios e níveis de “performance”).

Tabela 105 - Tabela de critérios e níveis de “performance”.

<b>Prioridade dos critérios de decisão</b>		
<b>Critérios</b>	<b>“Nível de Performance”</b>	<b>“Performance”</b>
ARQUITECTURA	Muito Bom	A solução estrutural/construtiva adequa-se ao tipo simbólico pretendido e potencia novas soluções com interesse arquitectónico no âmbito do tipo simbólico. A solução arquitectónica é excelente.
	Bom	A solução estrutural/construtiva adequa-se ao tipo simbólico pretendido sem obrigar a alterações que modifiquem o seu carácter. A solução arquitectónica é equilibrada não suscitando o desejo de a melhorar.
	Suficiente	A solução estrutural/construtiva exige que sejam efectuadas alterações ao tipo simbólico pretendido, com alterações de pormenor ao seu carácter. A solução arquitectónica é satisfatória, podendo ainda ser muito melhorada.
	Fraco	A solução estrutural/construtiva exige que sejam efectuadas alterações ao tipo simbólico pretendido, com a destruição do seu carácter. A solução arquitectónica não satisfaz.
PREÇO	Nível máximo	186.890 Euros
	Nível mínimo	301.146 Euros
DURABILIDADE	Muito Bom	A solução estrutural/construtiva destaca-se por apresentar respostas superiores às restantes soluções.
	Bom	A solução estrutural/construtiva, na sua utilização corrente permite minimizar os efeitos da retracção da madeira, dos assentamentos da construção em particular. A solução estrutural/construtiva permite minimizar as juntas entre componentes da estrutura e da envolvente da construção eliminando riscos de entrada de água. A solução estrutural/construtiva promove o afastamento dos elementos estruturais da envolvente sem os expor ao ambiente exterior. A solução estrutural/construtiva permite soluções eficazes de comportamento térmico nomeadamente ao nível da envolvente, e da sua estanquidade.
	Suficiente	A solução estrutural/construtiva, embora permitindo manter uma resposta suficiente às exigências regulamentares apresenta alguns destes riscos, mas não todos: A solução estrutural/construtiva, apresenta riscos relacionados com a retracção da madeira e com os assentamentos da construção. A solução estrutural/construtiva apresenta riscos relacionados com a profusão de juntas entre componentes da estrutura e da envolvente da construção. A solução estrutural/construtiva apresenta riscos relacionados com a exposição de elementos estruturais da envolvente ao exterior. A solução estrutural/construtiva apresenta algumas debilidades ao nível do comportamento térmico nomeadamente ao nível da envolvente (pontes térmicas, elementos de reduzida massa térmicas, riscos de fendas e fracturas e falhas de estanquidade).
	Fraco	A solução estrutural/construtiva apresenta todos os riscos descritos no nível Suficiente.
AMBIENTE <sup>303</sup>	Muito Bom	A solução estrutural/construtiva destaca-se por apresentar respostas ambientais superiores às restantes soluções.
	Bom	A solução estrutural/construtiva promove o uso da madeira e o sequestro do carbono pela utilização de elementos construtivos de grande secção. A solução estrutural/construtiva proporciona a redução de resíduos em obra pelo elevado grau de industrialização. A solução estrutural/construtiva proporciona naturalmente soluções óptimas do ponto de vista da envolvente construída e dos consumos energéticos.. A solução estrutural/construtiva recorre a elementos construtivos que permitem reduzir a necessidade de tratamentos químicos da madeira.
	Suficiente	A solução estrutural/construtiva tem um comportamento Bom apenas num ou dois dos parâmetros.
	Fraco	A solução estrutura/construtiva não tem um comportamento Bom em nenhum dos parâmetros considerados.

<sup>303</sup> A avaliação ambiental aqui efectuada é discutível e utilizada meramente como exemplificação do método. A “promoção do uso da madeira” e o “sequestro do carbono” noutros contextos, poderão não ser considerados mais valias ambientais em si, privilegiando-se as soluções mais leves por serem menores consumidoras de recursos. Por outro lado, em vez de se valorizar a promoção da madeira através do uso de elementos de grande secção, poderá ser mais racional valorizar-se as soluções com menor consumo de componentes de isolamento térmico, de elevado impacto ambiental. De qualquer modo, só com avaliações do tipo LCA (Life Cycle Assessment) estes aspectos podem ser avaliados de forma mais objectiva.

Adoptando os níveis de “performance” e as suas descrições em cada critério, atribuiu-se então a cada opção (sistema construtivo) um nível de “performance” (cf. Tabela 106).

Tabela 106 - Tabela de “performances”.

	Arquitectura	Preço (Euros)	Durabilidade	Ambiente
<b>Reticulados</b>	B	186.890	S	S
<b>Porticados</b>	MB	195.380	B	B
<b>Toros</b>	S	187.920	F	B
<b>CLT</b>	MB	246.290	MB	MB

Foi então gerada uma tabela de pontuações (cf. Tabela 107) onde se evidenciaram duas soluções: os painéis CLT e os porticados. Ambas beneficiaram da classificação máxima no critério Arquitectura. O perfil de diferenças mostra que as “performances” na “durabilidade” e no “ambiente” permitiram aos painéis CLT recuperar de um preço mais elevado em relação aos porticados. De qualquer modo, como a avaliação é de algum modo grosseira, a proximidade entre os dois sistemas é tal que ambas as soluções deveriam ser seleccionadas para se efectuar uma análise com mais pormenor e recorrendo a mais critérios. Os sistemas de reticulados e de toros foram prejudicados não só pela avaliação na “Arquitectura”, mas também pela avaliação obtida nos critérios “durabilidade” e “ambiente”.

Tabela 107 - Tabela de pontuações M-MACBETH.

Opções	Global	Arquitectura	Preço	Durabilidade	Ambiente
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>CLT</b>	<b>91.68</b>	100.00	48.01	100.00	100.00
<b>Porticados</b>	89.81	100.00	92.57	75.00	75.00
<b>Reticulados</b>	70.00	75.00	100.00	50.00	50.00
<b>Toros</b>	50.86	50.00	99.10	25.00	75.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos:		0.4800	0.1600	0.3200	0.0400

Os pesos atribuídos a cada critério farão naturalmente variar as pontuações e as respectivas ordenações. A análise da sensibilidade no peso de cada critério permite perceber até que ponto a variação de peso de um dado critério altera a pontuação global mantendo as relações proporcionais entre os restantes critérios. Assim, verifica-se que a variação do peso do critério “Arquitectura” não afecta a ordenação. Já a variação do peso do “preço” é importante uma vez que com um peso superior a 19,4% (o peso atribuído foi 16%), a solução preferencial passa a ser a de porticados, e só com um peso superior a 77,1% a solução preferencial passaria a ser a de reticulados. Variando o peso do critério “durabilidade”, verifica-se que com menos de 26,5% (o peso atribuído foi 32%) os painéis CLT deixam de ter a maior pontuação, passando os porticados a ser considerados preferenciais. Com um peso superior a este valor, os painéis CLT são sempre os preferenciais. O critério “ambiente” não tem grande importância devido ao seu reduzido peso, obtendo os painéis CLT sempre a melhor pontuação<sup>304</sup> independentemente da sua variação.

<sup>304</sup> Poderia também efectuar-se no programa M-MACBETH uma análise da robustez de cada solução e poderia ainda introduzir-se em cada “performance” parâmetros de incerteza. Por exemplo, a “performance” “S” na durabilidade dos porticados poderia ter

Poderia ainda ser efectuada uma avaliação alternativa integrando a solução sugerida pela empresa Rusticasa que propôs, em resposta ao pedido de orçamento que lhe foi feito, uma solução com revestimento exterior em régua de madeira do sistema de toros. Esta disposição construtiva apesar de ir contra o espírito tradicional do sistema, tem impacto nas avaliações. O nível de “performance” do sistema de toros no critério Arquitectura passaria a ser “muito bom” (MB), alterando-se a ordenação final relativa, mas não se alterando o resultado para efeito de escolha da solução (cf. Tabela 108).

Tabela 108 - Tabela de pontuações M-MACBETH com o sistema de toros isolados pelo exterior.

Opções	Global	Arquitectura	Preço	Durabilidade	Ambiente
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>CLT</b>	<b>91.68</b>	100.00	48.01	100.00	100.00
<b>Porticados</b>	89.81	100.00	92.57	75.00	75.00
<b>Toros</b>	<u>74.86</u>	<u>100.00</u>	99.10	25.00	75.00
<b>Reticulados</b>	70.00	75.00	100.00	50.00	50.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos:		0.4800	0.1600	0.3200	0.0400

Finalizada a avaliação, deveria seguir-se para a fase de contacto com as empresas seleccionadas para obtenção de propostas e para a respectiva avaliação. A avaliação das propostas poderia recorrer a um processo semelhante, envolvente instrumentos de apoio à decisão do tipo do programa M-MACBETH ou, em alternativa, matrizes de decisão mais simples.

### 6.4.3 CENÁRIOS

A avaliação efectuada, para além de meramente exemplificativa, constitui apenas um cenário possível, em que o responsável pela definição dos critérios e pela atribuição de pesos foi o autor desta tese, simulando simultaneamente o papel de Arquitecto e de cliente. Diferentes contextos, clientes e Arquitectos terão necessariamente juízos divergentes. O que importa não é pois saber qual é o melhor sistema construtivo em absoluto, mas sim perceber quais são as potencialidades de cada sistema e a que contextos de decisão cada um deles se adequará melhor.

Assim efectuou-se um exercício de definição de cenários em que o contexto da decisão é afectado pela alteração do peso dos critérios. Poderia designar-se o contexto anterior como o “cenário Arquitectura”, definindo-se depois cenários alternativos: o “cenário durabilidade”, o “cenário preço” e finalmente o “cenário ambiente”. O nome de cada cenário resulta da designação do critério considerado como o preferencial relativamente aos restantes.

#### 6.4.3.1 CENÁRIO ARQUITECTURA

No cenário Arquitectura, uma vez que é a Arquitectura o critério com o peso dominante, o que está em causa são as preferências expressas pela definição do tipo simbólico e a adequação do tipo estrutural a elas. Assim, foram construídos quatro sub-cenários em que se pressupõe em cada um deles que a solução formal foi definida especificamente para integrar as

um factor de incerteza baseado na possibilidade de haverem potencialmente tipos muito diferentes de envolvente. No entanto este tipo de análise obrigaria a introduzir factores de incerteza em todas as “performances” de todas as opções.

características próprias de cada uma das soluções construtivas. Por exemplo no “sub-cenário reticulados” a solução de reticulados é valorizada relativamente às restantes, atribuindo-se-lhe um nível de “performance” “muito bom”, enquanto que às restantes soluções são atribuídos níveis de “performance” inferiores. Assim, avaliaram-se as “performances” dos sub-cenários: “reticulados”, “porticados”, “toros” e “CLT”. Deste modo os níveis de “performance” no critério “Arquitectura” são alterados em cada sub-cenário, alterando-se também a pontuação global de cada solução. Como seria de esperar, no cenário “Arquitectura” em cada sub-cenário a preferência dominante recai sobre o sistema construtivo considerado preferencial em associação ao tipo simbólico (cf. Tabela 109).

Tabela 109 - Tabela do cenário “Arquitectura”, com as pontuações globais em cada sub-cenário.

<i>Escala:</i>	<b>Sub-cenário Reticulados</b>	<b>Sub-cenário Porticados</b>	<b>Sub-cenário Toros</b>	<b>Sub-cenário CLT</b>
<i>Arquitectura 48</i>				
<i>Durabilidade 32</i>	ARQ (MB,B,F,B)*	ARQ (F, MB, F, F)*	ARQ (F,F, MB, F)*	ARQ (F,F,S,MB)*
<i>Preço 16</i>				
<i>Ambiente 4</i>	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global
<b>Reticulados</b>	<b>82.00</b>	46.00	46.00	46.00
<b>Porticados</b>	77.81	<b>89.81</b>	53.81	53.81
<b>Toros</b>	38.86	38.86	<b>74.86</b>	50.86
<b>CLT</b>	79.68	55.68	55.68	<b>91.68</b>

\* ARQ (np1, np2, np3, np4) em que ARQ é o critério variável, np1 é o nível de “performance” dos painéis reticulados, np2 é o nível de “performance” dos porticados, np3 é o nível de “performance” das paredes de toros, np4 é o nível de “performance” dos painéis de lamelados colados CLT. Os níveis de “performance” são MB (muito bom, B (bom), S (suficiente), F (fraco).

#### 6.4.3.2 CENÁRIO DURABILIDADE

No cenário “durabilidade”, alteraram-se os pesos para que o critério dominante passasse a ser a durabilidade. Assim, os pesos ficaram distribuídos da seguinte forma: “durabilidade” (48); “Arquitectura” (32); “preço” (16); “ambiente” (4), mantendo-se os níveis de “performance” atribuídos no cenário anterior em cada sub-cenário para o critério “Arquitectura”. As pontuações globais permitem observar (cf. Tabela 110) que à excepção do sub-cenário “porticados” em que o sistema de porticados é o preferencial, nos restantes cenários, os painéis CLT dominam as preferências. Mesmo nas situações em que os tipos definido como preferenciais eram outros como aconteceu com o sub-cenário “reticulados” e com o sub-cenário “toros” o domínio dos painéis CLT é evidente.

Tabela 110 - Tabela do cenário “durabilidade”, com as pontuações globais em cada sub-cenário.

<i>Escala:</i>	<b>Sub-cenário Reticulados</b>	<b>Sub-cenário Porticados</b>	<b>Sub-cenário Toros</b>	<b>Sub-cenário CLT</b>
<i>Durabilidade 48</i>				
<i>Arquitectura 32</i>	ARQ (MB,B,F,B)*	ARQ (F, MB, F, F)*	ARQ (F,F, MB, F)*	ARQ (F,F,S,MB)*
<i>Preço 16</i>				
<i>Ambiente 4</i>	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global
<b>Reticulados</b>	74.00	50.00	50.00	50.00
<b>Porticados</b>	77.81	<b>85.81</b>	61.81	61.81
<b>Toros</b>	38.86	38.86	62.86	46.86
<b>CLT</b>	<b>83.68</b>	67.68	<b>67.68</b>	<b>91.68</b>

\* ARQ (np1, np2, np3, np4) em que ARQ é o critério variável, np1 é o nível de “performance” dos painéis reticulados, np2 é o nível de “performance” dos porticados, np3 é o nível de “performance” das paredes de toros, np4 é o nível de “performance” dos painéis de lamelados colados CLT. Os níveis de “performance” são MB (Muito Bom, B (Bom), S (Suficiente), F (Fraco).

#### 6.4.3.3 CENÁRIO PREÇO

No cenário “preço”, alteraram-se os pesos para que o critério dominante passasse a ser o preço das soluções. Assim, os pesos ficaram distribuídos da seguinte forma: “preço” (48);

“Arquitectura” (32); “durabilidade” (16); “ambiente” (4), mantendo-se os níveis de “performance” atribuídos no anteriormente em cada sub-cenário para o critério Arquitectura. As pontuações globais permitem observar que em todos os sub-cenários a solução que predomina é a preferencial no critério Arquitectura (cf. Tabela 111).

No entanto a análise de sensibilidade no peso do critério preço permite verificar que por exemplo no sub-cenário CLT, o preço com um peso a partir de 52,2 conduz as preferências para os toros. Observa-se também que com um peso de 55.6 e 55.7 as preferências se alteram para os porticados e reticulados respectivamente.

Tabela 111 - Tabela do cenário “preço”, com as pontuações globais em cada sub-cenário.

<i>Escala:</i>	<b>Sub-cenário Reticulados</b>	<b>Sub-cenário Porticados</b>	<b>Sub-cenário Toros</b>	<b>Sub-cenário CLT</b>
<i>Preço 48</i>				
<i>Arquitectura 32</i>	ARQ (MB,B,F,B)*	ARQ (F, MB, F, F)*	ARQ (F,F, MB, F)*	ARQ (F,F,S,MB)*
<i>Durabilidade 16</i>	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global
<i>Ambiente 4</i>				
<b>Reticulados</b>	<b>90.00</b>	66.00	66.00	66.00
<b>Porticados</b>	83.43	<b>91.43</b>	67.43	67.43
<b>Toros</b>	62.57	62.57	<b>86.57</b>	70.57
<b>CLT</b>	67.05	51.05	51.05	<b>75.05</b>

\* ARQ (np1, np2, np3, np4) em que ARQ é o critério variável, np1 é o nível de “performance” dos painéis reticulados, np2 é o nível de “performance” dos porticados, np3 é o nível de “performance” das paredes de toros, np4 é o nível de “performance” dos painéis de lamelados colados CLT. Os níveis de “performance” são MB (Muito Bom, B (Bom), S (Suficiente), F (Fraco).

Se for considerada uma alteração no contexto da decisão, em que a ordenação dos pesos passasse a valorizar o critério durabilidade (conferindo-se-lhe um peso de 32) em relação ao critério Arquitectura (que passaria a ter um peso de 16) conduziria a uma pontuação global em que os porticados obteriam uma melhor pontuação embora muito próxima da dos painéis CLT no sub-cenário CLT, e muito próxima dos reticulados no sub-cenário reticulados (cf. Tabela 112).

Tabela 112 - Tabela alternativa do cenário “preço”, com peso maior do critério “durabilidade” e em relação ao peso do critério “Arquitectura”, com as pontuações globais em cada sub-cenário.

<i>Escala:</i>	<b>Sub-cenário Reticulados</b>	<b>Sub-cenário Porticados</b>	<b>Sub-cenário Toros</b>	<b>Sub-cenário CLT</b>
<i>Preço 48</i>				
<i>Durabilidade 32</i>	ARQ (MB,B,F,B)*	ARQ (F, MB, F, F)*	ARQ (F,F, MB, F)*	ARQ (F,F,S,MB)*
<i>Arquitectura 16</i>	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global
<i>Ambiente 4</i>				
<b>Reticulados</b>	82.00	70.00	70.00	70.00
<b>Porticados</b>	<b>83.43</b>	<b>87.43</b>	<b>75.43</b>	<b>75.43</b>
<b>Toros</b>	62.57	62.57	74.57	66.57
<b>CLT</b>	72.05	63.05	63.05	75.05

\* ARQ (np1, np2, np3, np4) em que ARQ é o critério variável, np1 é o nível de “performance” dos painéis reticulados, np2 é o nível de “performance” dos porticados, np3 é o nível de “performance” das paredes de toros, np4 é o nível de “performance” dos painéis de lamelados colados CLT. Os níveis de “performance” são MB (Muito Bom, B (Bom), S (Suficiente), F (Fraco).

Finalmente poderia ainda ser considerado um cenário alternativo em que o limite inferior do preço fosse definido de forma a excluir os painéis CLT. Neste caso, optou-se por estabelecer um limite inferior de 200.000 Euros. Verifica-se aqui que neste cenário os reticulados passam a ser a opção dominante em todos os sub-cenários, excepto no “sub-cenário Toros” em que reticulados e toros obtêm pontuações muito próximas (cf. Tabela 113).



Tabela 113 - Tabela alternativa do cenário "preço", com um limite inferior de 200.000 Euros, com peso maior do critério "durabilidade" em relação ao peso do critério "Arquitectura", com as pontuações globais em cada sub-cenário.

Sub-cenário Reticulados	Sub-cenário Porticados	Sub-cenário Toros	Sub-cenário CLT
ARQ (MB,B,F,B)*	ARQ (F, MB, F, F)*	ARQ (F,F, MB, F)*	ARQ (F,F,S,MB)*
Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global
<b>Reticulados</b>	<b>82.00</b>	<b>70.00</b>	<b>70.00</b>
<b>Porticados</b>	55.92	59.92	47.92
<b>Toros</b>	59.23	59.23	<b>71.23</b>
<b>CLT</b>	-121.48	-129.48	63.05

\* ARQ (np1, np2, np3, np4) em que ARQ é o critério variável, np1 é o nível de "performance" dos painéis reticulados, np2 é o nível de "performance" dos porticados, np3 é o nível de "performance" das paredes de toros, np4 é o nível de "performance" dos painéis de lamelados colados CLT. Os níveis de "performance" são MB (Muito Bom, B (Bom), S (Suficiente), F (Fraco).

#### 6.4.3.4 CENÁRIO AMBIENTE

No cenário "Ambiente", alteraram-se os pesos para que o critério dominante passasse a ser o Ambiente. Assim, os pesos ficaram distribuídos da seguinte forma: "ambiente" (48); "Arquitectura" (32); "durabilidade" (16); "preço" (4), mantendo-se os níveis de "performance" atribuídos anteriormente em cada sub-cenário para o critério Arquitectura. As pontuações globais permitem observar (cf. Tabela 114) que só no sub-cenário reticulados a solução preferencial global não coincide com a solução preferencial no critério "Arquitectura" embora no sub-cenário "toros", a diferença entre as soluções toros e CLT não tenha significado.

A análise de sensibilidade no peso do critério preço permite observar que no sub-cenário "reticulados", só a partir de um peso de 63,8 no critério preço estes passariam a opção preferencial.

Tabela 114 - Tabela do cenário "ambiente", com as pontuações globais em cada sub-cenário.

Sub-cenário Reticulados	Sub-cenário Porticados	Sub-cenário Toros	Sub-cenário CLT
ARQ (MB,B,F,B)*	ARQ (F, MB, F, F)*	ARQ (F,F, MB, F)*	ARQ (F,F,S,MB)*
Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global	Pontuação global
<b>Reticulados</b>	68.00	44.00	44.00
<b>Porticados</b>	75.70	<b>83.70</b>	59.70
<b>Toros</b>	51.96	51.96	<b>75.96</b>
<b>CLT</b>	<b>89.92</b>	73.92	73.92

\* ARQ (np1, np2, np3, np4) em que ARQ é o critério variável, np1 é o nível de "performance" dos painéis reticulados, np2 é o nível de "performance" dos porticados, np3 é o nível de "performance" das paredes de toros, np4 é o nível de "performance" dos painéis de lamelados colados CLT. Os níveis de "performance" são MB (Muito Bom, B (Bom), S (Suficiente), F (Fraco).

#### 6.4.3.5 ANÁLISE DOS CENÁRIOS

A análise dos cenários simulados permite retirar conclusões acerca do potencial de cada sistema construtivo e das suas aplicações preferenciais. Conclui-se que num contexto de decisão em que a Arquitectura é um critério com muito peso e o preço é um critério secundário, a opção por uma determinada tipologia arquitectónica é obviamente determinante. No caso de cenários em que se valoriza o comportamento, os painéis de CLT terão tendência a dominar. Quando o preço é o critério com mais peso, e se este for mesmo limitador, as soluções de reticulados passarão a ser as preferenciais. Se o critério ambiental for considerado importante, nomeadamente se o potencial de sequestro de carbono for

privilegiado, os sistemas mais pesados como os painéis CLT e os toros tenderão a ser favorecidos.

Pelos inquéritos e entrevistas que foram apresentados e discutidos anteriormente concluiu-se que o critério arquitectónico deverá ser um dos dominantes nas escolhas dos potenciais clientes de casas de madeira. Assim, em grande parte dos casos reais, a escolha de um sistema deverá consistir na valorização deste aspecto e na apreciação das potencialidades de cada solução em termos da sua expressão estética.

O sistema de reticulados será o mais genérico, não apresentando uma estrutura da qual se possa retirar normalmente um partido estético singular. Se as exigências do cliente não contemplam a procura de uma estrutura que seja relevante na expressão visual da madeira, então este sistema deverá proporcionar uma das melhores soluções do ponto de vista económico. Se se pudessem escolher dois atributos para os reticulados, o “pragmatismo” e a “leveza” seriam os mais acertados.

O sistema de porticados destaca-se pelo potencial, sem concorrência, de concretização de espaços e volumes abertos e desmaterializados ou espaços mais fechados em que a presença da armadura estrutural de madeira dada pelos componentes de pilares e vigas conferem singularidade ao carácter arquitectónico. Os atributos adequados aos reticulados seriam a “elegância” e a “flexibilidade”.

O sistema de toros caracteriza-se pelo potencial de conferir aos espaços e à globalidade da construção a expressão da madeira na sua plenitude. Os componentes estruturais permitem evocar a madeira de uma forma que é a mais próxima da árvore possível. A “tradição” e a “natureza” são atributos que remetem para essas características.

O sistema de painéis de lamelados colados CLT, destaca-se pelas características de robustez e pela boa resposta em relação à maioria das exigências técnicas. Mas singulariza-se também pela expressão das suas superfícies contínuas em madeira que podem ser deixadas à vista especialmente nas paredes e nos tectos interiores. Este pode ser designado como o sistema da “inovação” e da “contemporaneidade”.

#### **6.4.4 REVISÃO DO CASO DE ESTUDO**

Uma vez que o caso de estudo foi desenvolvido anteriormente à definição do método, julga-se importante referir que aspectos do caso de estudo teriam sido alterados se o projecto desenvolvido tivesse sido elaborado seguindo os procedimentos do método.

Tendo como referência a numeração dos procedimentos de projecto propostos no capítulo 6.3. (Definição do estudo prévio), considera-se que numa situação real de projecto os seguintes procedimentos deveriam ter tido outra atenção:

1.1. - O desenvolvimento da solução formal deveria ter considerado a integração de estratégias de durabilidade. No caso de estudo, houve um foco excessivo na expressão da solução formal.

2.2. - Deveria ter havido a recolha de informação relativa a componentes e produtos de construção disponíveis no mercado nacional. Em vez deste procedimento recorreu-se em alguns dos casos a produtos de outros mercados. Esta foi uma opção justificada pela necessidade de recorrer à informação onde ela estava mais disponível. A opção tomada no entanto estará em parte de acordo com o procedimento previsto no ponto 2.5. que remete para a investigação de produtos inovadores no nosso mercado.

3. - Deveria ter havido a escolha de produtos alternativos aos elementos de madeira maciça, nomeadamente as vigas I-Joist no caso da estrutura de reticulados leves.

4.1 - Neste caso de estudo, as soluções não foram submetidas à apreciação dos consultores das especialidades, o que numa situação real deveria ser determinante, originando decerto revisões no sentido de optimização das soluções estruturais (também no ponto 13.1).

7. - A verificação das características térmicas da envolvente deveriam ter sido estudadas com mais profundidade, e mais cedo. Também não foi efectuada uma consulta às especialidades, cujas conclusões poderiam contribuir para uma maior eficácia das soluções, especialmente no respeitante à integração entre as paredes da envolvente e a cobertura.

8.1 - O recurso a um corte construtivo, desenvolvido durante o processo e não no final, ainda que à mão levantada, levantaria problemas e suscitaria a tomadas de decisão importantes que não foram consideradas. A solução da drenagem das águas da cobertura por exemplo, foi apenas pensada, mas não equacionada em termos de detalhe e de implicações. Também o terraço do piso superior, ainda que coberto não foi alvo de uma reflexão apurada. Estes dois exemplos, se tivessem sido desenhados recorrendo a um corte construtivo, poderiam eventualmente ter sido objecto de uma maior ponderação, podendo conduzir possivelmente a soluções alternativas.

10.1 - As situações construtivas problemáticas teriam sido resolvidas em alguns casos mais facilmente com recurso a componentes estruturais alternativos. Esta no entanto foi uma opção assumida no caso de estudo já que o que se pretendia era demonstrar as capacidades e as condicionantes dos sistemas na sua forma mais “pura”.

11. - Não foi efectuado um procedimento de verificação da durabilidade da solução. Se tal procedimento tivesse sido efectuado nesta fase, provavelmente as soluções de cobertura e das varandas teriam sido revistas (12.1.).

16.1. - A consulta às empresas deveria ter sido realizada com mais insistência no sentido de obter uma melhor integração das propostas do caso de estudo. Verificou-se que as estimativas elaboradas pelas empresas se referem aos produtos que conhecem e aos quais recorrem normalmente. Nos contactos efectuados com as empresa, estas por pragmatismo tendem nas fases de propostas iniciais, a ignorar os produtos e especificação incluídas nos desenhos fornecidos.

16.2. - A avaliação das propostas das empresas não foi efectuada nem simulada. Uma análise cuidada, com base nos pontos de vista expressos nas tabelas propostas no capítulo 7.2 (Definição do programa), deveria assegurar uma escolha racional e que defendesse os interesses do cliente.

De forma mais genérica pode-se criticar o caso de estudo por não contemplar sistemas mistos (recorrendo a vários tipos estruturais numa só solução) e por se focar num processo em que a definição formal é desenvolvida anteriormente à definição construtiva e estrutural. Na realidade, a utilização de sistemas mistos e a adopção de processos em que a solução formal pode ser até o resultado de uma premissa construtiva acabarão por ser situações muito comuns, que resultam da ponderação de vários factores de qualidade arquitectónica.

O percurso seguido é no entanto justificável pela necessidade de conhecer os sistemas no seu estado mais puro e por ser importante reduzir o número de variáveis sempre que estas tendem a multiplicar-se em cenários de difícil manipulação.



## CONCLUSÕES

A adopção de uma abordagem à construção em madeira numa perspectiva arquitectónica obrigou a incluir na tese temas muito diversificados: a construção em madeira, a habitação, a História, a teoria da Arquitectura e a metodologia de projecto. Embora se tenha a consciência que nas teses de doutoramento se privilegia normalmente o conhecimento especializado e as aproximações mais sintéticas, considera-se que a resposta aos objectivos colocados inicialmente, bem como a singularidade do tema no contexto nacional e o propósito de produzir conhecimento integrado justificaram a extensão do texto e o percurso seguido.

A produção de informação que pudesse ser útil aos arquitectos nacionais, interessados em construir casas de madeira, constituiu a motivação de base para a produção desta tese. Para tal foram definidos três objectivos específicos: 1) Organizar o conhecimento e os conceitos específicos relacionados com a construção de casas de madeira; 2) Identificar os requisitos de projecto de arquitectura referentes aos principais sistemas construtivos; 3) Propor um método de projecto de arquitectura de casas de madeira dirigido aos arquitectos portugueses. Cada um destes objectivos conduziu a uma metodologia de trabalho que envolveu consulta de literatura técnica e histórica, inquéritos, entrevistas e casos de estudo que permitiram obter sínteses, conclusões e elaborar uma proposta de método de projecto de arquitectura.

### Organização do conhecimento

A História e a teoria da arquitectura da construção em madeira demonstraram a sua grande utilidade, contribuindo para formular muitos dos problemas que se colocaram ao longo da tese. Através da abordagem histórica foi possível elaborar uma primeira aproximação aos conceitos que vieram a ser utilizados ao longo de todo o texto, nomeadamente os referentes à classificação tipológica que foi depois utilizada e desenvolvida quando foram tratados os sistemas contemporâneos de construção em madeira. A compreensão das lógicas de cada sistema construtivo e as suas origens, assim como a identificação de diferentes tradições regionais proporcionaram uma base cultural que é basilar para o conhecimento arquitectónico. A recolha de exemplos sobre o “porquê” de cada sistema construtivo com base em critérios, como a disponibilidade de materiais, o clima, a cultura, a função, a durabilidade, a tecnologia e a economia, forneceu bases racionais para entender melhor os sistemas e a sua evolução, podendo inspirar a imaginação dos Arquitectos para novas evoluções e inovações.

Verificou-se que o contexto nacional apresenta um potencial de desenvolvimento do mercado das casas de madeira, relacionado em especial com a existência de empresas de fabrico, comercialização e construção com uma presença consolidada no mercado, mas também com a dimensão da floresta nacional. No entanto, os desafios identificados pelas próprias empresas são muitos, relacionando-se com a reduzida dimensão do mercado nacional e com a dificuldade da floresta portuguesa e das serrações em competir com os mercados dos países do norte da Europa e da América do Norte. A estes factores junta-se a vocação da floresta nacional para abastecer o sector da celulose, pouco exigente quanto à qualidade da madeira. As empresas continuam ainda a identificar o problema da falta de conhecimento dos arquitectos e também dos engenheiros relativamente à construção em madeira, embora este cenário se tenha modificado, para melhor, nos últimos anos. Apesar do panorama de contenção do mercado actual da construção civil, as perspectivas de futuro na óptica das empresas são positivas devido ao crescimento da consciência ambiental, ao interesse dos

arquitectos e à integração de regulamentos e normas que promovem elevados padrões de qualidade.

O maior trabalho de organização do conhecimento específico da construção em madeira consistiu em classificar as tipologias arquitectónicas em sistemas formais por um lado, e em sistemas construtivos por outro. A divisão dos sistemas formais em tipos funcionais, espaciais e simbólicos, bem como a divisão dos sistemas construtivos em tipos estruturais, de envolvente e de compartimentação, facilitou o tratamento da informação ao reduzir as variáveis em presença em cada problema. Esta classificação revelou-se também especialmente importante porque permitiu, ao longo da investigação, organizar as informações de forma sistemática ultrapassando-se assim a dificuldade de lidar com situações em que a multiplicidade de terminologias dificulta a identificação dos diferentes sistemas. Para além da identificação de grande parte dos sistemas de construção em madeira existentes, foi depois possível, com esta base conceptual, racionalizar o método, oferecendo um instrumento de classificação e ordenação das opções que se oferecem ao Arquitecto através da formalização de catálogos de tipos.

### **Requisito de projecto de arquitectura**

De entre a diversidade de sistemas construtivos identificados, seleccionaram-se aqueles que de algum modo são mais abrangentes e mais utilizados e que se configuram como os mais relevantes para utilização no território nacional: os reticulados leves, os porticados, as paredes pesadas de toros e os painéis pesados de lamelados colados. Cada um desses sistemas foi descrito com base na informação disponível em manuais, reunindo-se assim as informações e as regras que permitiram depois desenvolver os quatro casos de estudo correspondentes.

Os vários sistemas construtivos são dificilmente comparáveis em abstracto, não sendo possível classificá-los segundo uma ordem de valor sem haver um “cenário” ou um contexto que acrescente informação adicional. Cada um desses sistemas está associado a requisitos próprios, manifestando-se as características da madeira de modos muito diferenciados. A própria ideia genérica de “construção em madeira” é falaciosa quando se observam comparativamente os vários sistemas. O diferente comportamento de sistemas como os porticados e os painéis CLT, tanto ao nível construtivo como formal, poderá ser comparável à diferença entre estruturas metálicas e de betão armado. Cada sistema oferece possibilidades técnicas e estéticas irrepetíveis nos sistemas concorrentes: são singulares a economia e leveza dos reticulados, a flexibilidade dos porticados, o tradicionalismo dos toros, e a contemporaneidade dos painéis CLT. Para além dos factores objectivos e quantificáveis, os clientes de casas de madeira serão sensíveis principalmente aos aspectos expressivos e ao carácter que cada sistema pode acrescentar a uma casa. Cada um representa um conjunto singular de potencialidades e limitações ao projecto de arquitectura e a tomada de consciência e conhecimento dessas possibilidades deve ser uma obrigação do Arquitecto.

O conhecimento do comportamento da madeira e de cada sistema e das respectivas exigências, especialmente aquelas que são controláveis por definições arquitectónicas (durabilidade, a integridade construtiva e a economia, posteriormente detalhados em estratégias), permitirá ao Arquitecto desempenhar o papel que se espera dele. Para o cliente de uma casa de madeira, o Arquitecto é o profissional independente que está em condições de analisar o maior número de opções, não se restringindo só a um fabricante ou a uma lógica dominante numa empresa. A adopção de um método de projecto será um instrumento

imprescindível para que as opções e as decisões sejam tomadas com a consciência de que o problema de projecto foi bem equacionado.

### **Metodologia**

A metodologia de projecto proposta foi elaborada com base na identificação das limitações dos processos correntes de projecto. Uma reflexão lógica sobre os processos de projecto, permitiu identificar três modelos diferentes: o das empresas de casas de madeira que proporcionam processos eficazes de soluções pré-definidas, ou muito controladas; o dos arquitectos de referência que concebem soluções com um foco artístico; e o da maioria dos arquitectos que produzem soluções de compromisso entre a sua visão e a do cliente. Cada um dos processos tem vantagens e limitações, pretendendo-se no método proposto manter e potenciar as primeiras e eliminar as segundas. O processo proposto pretende garantir, no âmbito da construção em madeira, a satisfação do cliente, a qualidade formal, a qualidade construtiva, a personalização e a independência das empresas.

A definição específica do método foi efectuada com referência a várias fontes, nomeadamente recorrendo a manuais, a documentos técnicos e à experiência do caso de estudo que consistiu em desenvolver quatro projectos diferentes ao nível do estudo prévio, testando a integração de cada um dos sistemas estruturais seleccionados nas soluções formais previamente desenvolvidas. Este processo permitiu identificar os procedimentos críticos em cada fase e reflectir sobre a sequência preferencial das diversas decisões.

O método proposto incide em especial nas fases de programa base e de estudo prévio. Ao nível do programa base, seleccionam-se os sistemas formais e estruturais que serão desenvolvidos na fase seguinte. Esta selecção pressupõe a realização prévia de um catálogo de tipos, ilustrado com exemplos, sendo a escolha auxiliada por tabelas de apoio à decisão baseadas na relação entre diversos aspectos do contexto e cada um dos tipos. Ainda na fase de programa base, a adequação do tipo estrutural ao tipo simbólico é efectuada com referência a lógicas de correspondência enquadradas pelos critérios do contexto definidos pelo cliente.

O objectivo principal do estudo prévio consiste no desenvolvimento de soluções de projecto, a partir dos tipos arquitectónicos definidos anteriormente. Esse desenvolvimento é realizado tendo por base uma sequência de procedimentos técnicos que constituem as escolhas fundamentais de projecto, sugerindo-se paralelamente estratégias de durabilidade, integridade construtiva e economia, a serem adoptadas em maior ou menor grau em função da importância atribuída pelo cliente a cada uma delas. O desenvolvimento destas soluções pressupõe também uma colaboração próxima com as empresas de fabrico de casas de madeira de modo a recolher informações sobre alternativas, produtos disponíveis, boas práticas e respectivos preços.

A produção de alternativas de solução proporciona depois um processo de avaliação criteriosa, para a qual se propõe a adopção de uma metodologia de apoio à decisão com base em critérios múltiplos, tendo como referencia o contexto de decisão estabelecido. Todo este processo contribui, não só para a satisfação do cliente que se vê envolvido na escolha, como também para a personalização da solução que integra assim as escolhas adequadas ao contexto do cliente, promovendo ainda a qualidade construtiva e a qualidade formal das soluções arquitectónicas.

A reflexão sobre o processo de projecto e a análise de diferentes cenários, no âmbito das metodologias de apoio à decisão, veio confirmar a ideia segundo a qual não se podem avaliar os sistemas construtivos em abstracto, estando sempre qualquer avaliação dependente da formulação de um contexto de decisão em que todas as condicionantes contam para valorizar ou desvalorizar cada um dos possíveis critérios que permitem avaliar uma solução como adequada, menos adequada ou não adequada.

Num contexto em que os produtos de construção em madeira surgem, cada vez mais com a lógica de sistemas, com regras próprias muitas vezes só dominadas completamente pelos próprios fabricantes, verifica-se uma situação aparentemente paradoxal. Por um lado o projectista pode remeter para as empresas a definição técnica das soluções, sugerindo-se que o arquitecto não necessitaria de saber “construir em madeira”. Por outro lado, a definição de soluções que não estejam normalizadas, e que são propostas geralmente pelos Arquitectos, exigem um conhecimento dos sistemas e dos processos próprios da construção em madeira. Assim, se Arquitecto não tiver conhecimento das lógicas de cada sistema construtivo, será difícil poder negociar com as empresas as soluções que elas propõem. Será igualmente difícil propor soluções inovadoras ou personalizadas que contribuam para a satisfação do cliente e para a qualidade formal da arquitectura.

A importância conferida aos aspectos ambientais e a racionalização dos processos e a qualidade que se imprimem às soluções em madeira, poderão em conjunto contribuir para dinamizar a construção de casas de madeira no futuro. Tem-se assistido nos últimos anos a um interesse crescente dos Arquitectos em relação à construção em madeira, devendo estes assumir um papel importante nessa dinamização. Se no contexto nacional a “madeira estrutural” pode ser considerada um produto de algum modo inovador, a renovação da Arquitectura pode passar precisamente pela utilização de sistemas construtivos em madeira. Pelo lado dos arquitectos haverá decerto a vontade de inovar e diversificar as soluções. Da parte das empresas encontrou-se abertura para trabalhar com os Arquitectos e para partilhar a sua experiência e os seus conhecimentos.

Nesta tese adoptou-se desde início uma abordagem ampla, como é próprio da Arquitectura. É por isso um trabalho com mais sugestões do que respostas. A principal das sugestões é dirigida aos Arquitectos portugueses: a da utilização do “método proposto” no projecto de casas de madeira. A partir deste trabalho outros poderão ser desenvolvidos com enfoque em aspectos particulares e tão importantes como por exemplo:

- a análise específica de cada sistema (como já foi feito para os reticulados leves noutra tese);
- a análise do comportamento (a térmica, a estanquidade e os custos) da envolvente construída nos vários sistemas construtivos;
- os procedimentos de escolha e decisão das várias possibilidades construtivas dentro de um sistema específico;
- definição dos detalhes que promovem a durabilidade associados a cada sistema construtivo;
- análise do comportamento ambiental de sistemas construtivos mais relevantes;

Por parte do autor considera-se que, com base na informação produzida nesta tese, é possível partir para outras investigações e de um ponto de vista prático, elaborar um manual de apoio ao projecto de arquitectura de casas de madeira, sintético, amigável e funcional dirigido aos Arquitectos portugueses.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achilles, R. (2013). *The Chicago School of Architecture - Building the modern city, 1880-1910*. New York: Shire Publications.
- Achten, H. (2008). Design methods and design theory for architectural design management. *ADMS Selected Work 2003-2007/Ed. AFHJ den Otter*, 4-6.
- Addis, B. (2007). *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London: Phaidon.
- Affentranger, C. (2005). Building simply with wood. Em C. Schittich, *Building simply* (pp. 27-35). Munchen: Detail - Birkhauser.
- Ahvenainen, J. (2013). Modern architecture made with CLT. Em H. Cruz, J. Branco, P. Lourenço, & L. Nunes, *Casas de madeira - Livro de Atas* (pp. 93-106). Lisboa: LNEC.
- AIMMP. (2009). *A fileira da madeira e mobiliário em Portugal 2009 - Caracterização estatística*. Porto: AIMMP - Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal.
- AIMMP. (10 de Outubro de 2015). *A fileira da madeira*. Obtido de AIMMP - Obserwood: <http://obserwood.aimmp.pt/sobre-a-fileira/#fileira>
- Alcomate. (11 de Março de 2014). *Casas de madeira WBH - Wood Block House*. Obtido de Alcomate - Carpintaria: <http://www.alcomate.pt/index.html>
- Allen, E., & Iano, J. (2002). *The architects studio companion rules of thumb for preliminar design*. New York: John Wiley & Sons.
- Allen, E., & Iano, J. (2008). *Fundamentals of building construction - materials and methods*. New Jersey: Wiley - John Wiley & Sons.
- Almeida, P. (2010). *Sistema construtivo de madeira em edificios de baixa densidade em Portugal - Tese definitiva para a obtenção do grau de doutor no ramo de Arquitectura, especialidade Tecnologia da Arquitectura*. Lisboa: Faculdade de Arquitectura - UTL.
- Almeida, P. (2010a). Pormenorização e protecção por projecto. *Encontro Nacional de Engenharia de Madeiras*. Coimbra: Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.
- Alread, J., & Leslie, T. (2007). *Design-Tech - Building science for architects*. Oxford: Elsevier - Architectural Press.
- AlShamrani, O. S. (2007). *Selection of structural systems and materials: Minimizing lateral drift and cost of tall buildings in Saudi Arabia - Thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Building Science*. Los Angeles: Faculty of the school of architecture - University of Southern California.
- American Institute of Architects. (2008). *Architectural graphic standards*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- American Institute of Timber Construction. (2012). *Timber construction manual*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- American Wood Council. (2001). *Details for conventional wood frame construction*. Washington: American Wood Council - American Forest & Paper Association.
- American Wood Council. (2003). *Plank-and-beam framing for residential buildings*. Washington DC: American Forest and Paper Association.
- American Wood Council. (2006). *Design of wood frame structures for permanence*. Washington DC: American Forest & Paper Association, Inc.
- American Wood Council. (06 de Março de 2015). *DCA 6 - Prescriptive Residential Deck Construction Guide*. Obtido de American Wood Council: <http://www.awc.org/publications/dca/dca6/dca6-12.pdf>
- APA - The Engineered Wood Association. (1999). *Technical note - Glulam conexions*. Tacoma: Engineered Wood Systems.
- APA - The Engineered Wood Association. (2007). *Structural Insulated Panels - Product guide*. Tacoma: APA - SIPA.
- APA - The Engineered Wood Association. (24 de Março de 2015). *Glulam floor beams*. Obtido de APA: <http://www.apawood.org/SearchResults.aspx?q=C415&tid=1>
- Aparicio Jr, G. W. (2010). *Timber construction and material information exchanges for the design of complex geometric structures*. Cambridge: Massachussets Institute of Technology.
- Appleton, J. (2000). Conservação e reabilitação de estruturas de madeira - Metodologias de intervenção. Em *Estruturas de Madeira - Reabilitação e inovação*. Lisboa: GECO PRA.
- Appleton, J. G. (2005). *Reabilitação de edificios gaioleiros*. Amadora: Edições Orion.
- Architectural Record. (06 de Março de 2014). *Mass timber and wood Framing*. Obtido de Architectural Record - Continuing education center: <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=324&C=946&P=4>

- Armesto, A. (2001). Quince casas americanas de Marcel Breuer (1938-1965). *2G Revista Internacional de Arquitectura*, 17, pp. 4-25.
- Asensio, N. (2005). *Arquitectura: Madeira*. Savigliano: Edizione Gribaudo - Lisma.
- Augustin, M. (2008). Structural timber. Em *Handbook 1 - Timber structures* (pp. 28-38). European Commission - Leonardo da Vinci Pilot Project.
- Avalon Log Homes. (2011). *Avalon Log Homes construction manual*. Nampa: Avalon Log Homes.
- AWC. (2003). *Heavy timber construction*. Washington: American Wood Council.
- Bana e Costa, C. (1993). *Processo de apoio à decisão: Actores e acções; Estruturação e avaliação*. Lisboa.
- Bana e Costa, C., & Antunes Ferreira, J. (2000). Metodologia multicritério de apoio à avaliação de proposta em concursos públicos. Em J. Antunes Ferreira, & É. Corrêa, *Casos de aplicação da investigação operacional*. Lisboa: McGraw-Hill.
- Bana e Costa, C., De Corte, J. M., & Vansnick, J.-C. (11 de Outubro de 2015). *M Macbeth*. Obtido de M Macbeth: [http://www.m-macbeth.com/help/pdf/M-MACBETH%203.0.0%20Guia%20do%20utilizador\\_BETA.pdf](http://www.m-macbeth.com/help/pdf/M-MACBETH%203.0.0%20Guia%20do%20utilizador_BETA.pdf)
- Banema. (25 de Fevereiro de 2015). *Thermowood exterior fachadas*. Obtido de Banema madeiras + derivados: [http://issuu.com/banema/docs/lunawood\\_brochure\\_eng\\_2012](http://issuu.com/banema/docs/lunawood_brochure_eng_2012)
- Barry, R. (1999). *The construction of buildings*. Oxford: Blackwell Science.
- Bejder, A. K. (2012). *Aesthetic qualities of Cross Laminated Timber - PhD dissertation*. Aalborg: Aalborg University.
- Bejder, A. K., Kirkegaard, P., Brohus, H., & Fisker, A. (2008). MCDM in practice – an architectural point of view. In *Passivhus Norden 2008 Conference Proceedings: Den første nordiske passivhuskonferanse* (pp. 134-142). Aalborg: Aalborg University.
- Bell, S. (2012). *Landscape: Pattern, perception and process*. New York: Routledge.
- Bell, W. (1859). *Carpentry made easy or the science and art of framing*. Philadelphia: James Challen & Son.
- Bender, R. (1976). *Una visión de la construcción industrializada*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Benedetti, C., & Bacigalupi, V. (1988). *Legno Architettura - Il futuro della tradizione*. Roma: Edizioni Kappa.
- Benévolo, L. (1996). *Historia de la arquitectura moderna*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Benoit, Y., & Paradis, T. (2008). *Construction de maisons à ossature bois*. Paris: Éditions Eyrolles.
- Benson, T. (1977). *The timber-frame home*. Newtown: The Taunton Press.
- Berdini, P. (1989). *Walter Gropius*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Bignon, J.-C., & Critt-Crai, N. (2003). *Technologies de construction bois*. Paris: CNDB - Comité National pour le Développement du Bois.
- Binderholz. (22 de Outubro de 2015). *CLT BBS*. Obtido de Binderholz: <http://www.binderholz.com/en/basic-products/clt-bbs/>
- Binderholz. (23 de Outubro de 2015). *Single-family house, Graz*. Obtido de Binderholz: <http://www.binderholz.com/en/construction-solutions/single-family-house/single-family-house-graz-austria/>
- Binderholz. (31 de Julho de 2015). *Strength graded structural softwood lumber*. Obtido de Binderholz: [http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services\\_Kontakt/Videos\\_Download/Prospekte/Prospekt\\_Koesching\\_konstruktive\\_Hobelware\\_GB\\_WEB.pdf](http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/Prospekt_Koesching_konstruktive_Hobelware_GB_WEB.pdf)
- Bittencourt, R., & Hellmeister, J. (1995). *Concepção arquitectónica da habitação em madeira*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil.
- Boesiger, W. (1989). *Le Corbusier*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Bom Sucesso - SGPS, S.A. (14 de Abril de 2014). Obtido de Bom Sucesso - Architecture resort, leisure: <http://www.bomsucesso.net/>
- Borer, P., & Harris, C. (2001). *Out of the Woods - Ecological design for timber frame housing*. Machinlleth: Center for Alternative Technology Publications.
- Brawne, M. (2003). *Architectural thought: The design process and the expectant eye*. Oxford: Rchitectural Press - Elsevier.
- Brito, R. S. (1981). *Palheiros de Mira - Formação e declínio de um aglomerado de pescadores*. 2ª Ed. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Brungraber, B., & DeStefano, J. (2005). Timber frame construction - Architecturally exposed timber. *Structure magazine*, 27-29.
- Brunskill, R. W. (2000). *Vernacular architecture*. London: Faber and Faber.

- Butterfield, D. (1984). *Architectural Heritage - The MSTW Planning district*. Winnipeg: Manitob Culture, Heritage and Recreation.
- Cabrita, A. R. (1996). *Regras para elaboração de projectos*. Lisboa: LNEC.
- Cachim, P. (2007). *Construções em madeira - A madeira como material de construção*. Porto: Publindústria.
- Caldas, J. V., Tostões, A., Silva, F., Fernandes, J. M., Barcelos, M., & Mestre, V. (2000). *Arquitetura Popular dos Açores*. Lisboa: Ordem dos Arquitectos.
- Calil Junior, C., & Brito, L. D. (2010). *Manual de projecto e construção de estruturas com peças roliças e madeira de reflorestamento*. São Carlos: Universidade de São Paulo.
- Canadian Wood Council. (1997). *Introduction to wood building technology*. Ottawa: Canadian Wood Council.
- Canadian Wood Council. (13 de Junho de 2014). *Canadian Wood Council*. Obtido de Canada Wood Council: <http://cwc.ca/wp-content/uploads/>
- Canadian Wood Council. (28 de Fevereiro de 2014). *Timber*. Obtido de Canadian Wood Council: <http://www.cwc.ca/wp-content/uploads/documents/lumber/Timber.pdf>
- Canadian Wood Council. (20 de Outubro de 2015). *Canadian Wood Council*. Obtido de Teaching and learning resources: <http://cwc.ca/education/teaching-learning-resources/>
- Canadian Wood Council. (24 de Março de 2015). *Timber*. Obtido de Canadian Wood Council: <http://cwc.ca/wp-content/uploads/Timber.pdf>
- Canadian Wood Council. (22 de Março de 2015a). *Post and beam construction*. Obtido de Canadian Wood Council: [http://cwc.ca/wp-content/uploads/2013/11/Post\\_Beam\\_Construct.doc](http://cwc.ca/wp-content/uploads/2013/11/Post_Beam_Construct.doc)
- Casema. (2006). *Detalhes e especificações técnicas da Casema*. Casema - Casas Especiais de Madeira.
- Casema. (10 de Outubro de 2015). *Casas de madeira em Portugal; Casema, há 25 anos no mercado*. Obtido de Casema - Casas especiais de madeira: <http://www.casema.pt/casas-de-madeira-em-portugal-casema-ha-25-anos-no-mercado/>
- Castanheira, C. (2006). *Seminário - Construção em madeira - Volume II - Dossier de acompanhamento da acção de formação*. Porto: IDT.
- Castanheira, C. (8 de Janeiro de 2011). *Construir em madeira - porque eu gosto!* Obtido de Carlos Castanheira Architects: <http://www.carloscastanheira.pt/pt/textos/ver/construir-com-madeira-porque-eu-gosto>
- Cazayoux, E. (15 de Janeiro de 2014). *The climatic adaptation of French colonial architecture into the Louisiana raised cottage*. Obtido de Natural Historical Design: <http://dnr.louisiana.gov/assets/TAD/education/ECEP/drafting/a/app-a.htm>
- Cecilia, F. M., & Levene, R. (2008). *El Croquis 140 - Alvaro Siza 2001-2008*. Madrid: El Croquis.
- Central Michigan University. (27 de Abril de 2015). *Annual Sales Catalogs, 1908-54*. Obtido de Clarke Historical Library: [https://www.cmich.edu/library/clarke/ResearchResources/Michigan\\_Material\\_Local/Bay\\_City\\_Aladdin\\_Co/Documents/1915\\_annual\\_sales\\_catalog.pdf](https://www.cmich.edu/library/clarke/ResearchResources/Michigan_Material_Local/Bay_City_Aladdin_Co/Documents/1915_annual_sales_catalog.pdf)
- César, S. F. (2002). *Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente - Projeto conceitual - Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito à obtenção do título de Doutor*. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Chang, S. (2011). Methodological polymorphism for supporting the architectural design process. Em M. C. Thomson, *Proceedings on the First International Workshop on Design in Civil and Environmental Engineering* (pp. 42-51). Daejeon: Kaist.
- Ching, F. (2008). *Building construction illustrated*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Ching, F., & Adams, C. (2001). *Técnicas de construção ilustradas*. Porto Alegre: Bookman.
- Choisy, A. (1899). *Histoire de l'architecture - Tome I*. Paris: Gauthier-Villars.
- Chudley, R., & Greeno, R. (2004). *Building construction handbook*. Oxford: Elsevier.
- Clancey, G. (2006). *Earthquake Nation : The cultural politics of Japanese seismicity, 1868-1930*. Berkeley: Univerity of California Press.
- Clark, C. E. (1987). *The American family-home, 1800-1900*. Chapel Hill: The University of North Carolina Press.
- Classic EB. (11 de Junho de 2012). *Carpentry*. Obtido de Classic EB: <http://eb.tbicl.org/carpentry/>
- Clayton, M. J. (1990). *Canadian housing in wood - An historical perspective*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- CMHC. (2001). *Woodframe envelopes in the coastal climate of British Columbia - Best practice guide building technology*. Canadian Mortgage and Housing Corporation.
- CMHC. (2013a). *Canadian wood-frame construction*. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.

- CMHC. (2013b). *Glossary of housing terms*. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.
- CNDB. (12 de Fevereiro de 2012). *Dossier de presse*. Obtido de FIBRA - Fédération Forêt Bois Rhône Alpes: [http://www.fibra.net/upload/pdf/dp\\_etude\\_caron.pdf](http://www.fibra.net/upload/pdf/dp_etude_caron.pdf)
- CNDB. (29 de Março de 2012). *Systèmes constructifs*. Obtido de CNDB - Le bois avance: [http://www.cndb.org/?p=systemes\\_constructifs](http://www.cndb.org/?p=systemes_constructifs)
- Cooper, J. (1993). *Log homes made easy - Contracting and building your log home*. Harrisburg: Stakpole Brooks.
- Costa, J. (1995). *Método de avaliação da qualidade de projectos de edificios de habitação - Dissertação de doutoramento*. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- Coyote Log Homes. (08 de Julho de 2015). *Log homes buying process*. Obtido de Coyote Log Homes inc: <http://www.coyoteloghomes.ca/how-to-buy/log-home-buying-process.aspx>
- Cremer, C., & Cremer, J. (2008). *The complete guide to log homes*. New York: iUniverse.
- Crespell, P., & Gaston, C. (31 de Julho de 2015). *The value proposition for Cross-Laminated Timber*. Obtido de FPCA.ca - Forest Products Association of Canada: <http://www.fpac.ca/publications/Value-CLT-2011%20NABC%20anaylisfinal.pdf>
- Cruz, H. (2011). Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira. *1as Jornadas de materiais de construção* (pp. 215-227). Lisboa: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cruz, H. (2013). Casas de madeira - Panorama nacional, certificação, e homologação. *Casas de madeira - Seminário* (pp. 1-12). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- CSI - Construction Specifications Institute. (2005). *MasterFormat - 2004 Edition Numbers & Titles*. Toronto: CSI - Construction Specifications Institute Canada.
- CSTB. (2012). *Document Technique d'Aplication 3/13-742*. Marne la Vallée.
- CSTB. (2013). *Panneau Leno - ETA-10/0241*. Marne la Vallée: CSTB.
- CSTB. (2014). *Document Technique d'Aplication - Derix X-LAM*. Marne la Vallée: CSTB.
- Curtis, W. (1991). *Modern architecture since 1900*. London: Phaidon Press .
- Davies, C. (2005). *The prefabricated home*. London: Reaktion Books.
- DeCristoforo, R. J. (2007). *Housebuilding - A do-it-yourself guide*. New York: Sterling Publishing.
- Deplazes, A. (2005a). *Constructing architecture, materials processes structures, a handbook*. Basel: Birkhauser.
- Deplazes, A. (2005b). Wood: indifferent, synthetic, abstract - plastic. Em A. Deplazes, *Constructing architecture, materials processes structures, a handbook* (pp. 77-81). Basel: Birkhauser.
- DGF. (1998). *Plano de desenvolvimento sustentável da floresta portuguesa*. Lisboa: Direcção Geral das Florestas.
- DGPF - IESE. (2013). *Avaliação da estratégia nacional para as florestas - Resultados e propostas*. Lisboa: DGPF - Departamento de Gestão e Produção Florestal.
- DGRF. (2006). *Estratégia nacional para as florestas*. Lisboa: DGRF - Direcção Geral dos Recursos Florestais.
- Donnelly, M. C. (1992). *Architecture in Scandinavian countries*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Driller, J. (2000). *Breuer Houses*. London: Phaidon.
- Duncan, S. B. (1991). *Build your own frame house*. Blue Ridge Summit, PA: Tab Books - McGraw-Hill.
- Elliott, B. (30 de Julho de 2007). *Balloon framing*. Obtido de Elliott Home Inspection: <http://activerain.com/blogsvie/160660/balloon-framing-not-mortgages->
- EOTA. (2001). *ETAG 007 - Guideline for european technical approval of timber building kits*. Brussels: European Organisation for Technical Approvals.
- EOTA. (2002). *ETAG 012 - Guideline for european technical aproval of log building kits*. Brussels: European Organisation for Technical Approvals.
- EuroHonka. (6 de Junho de 2015). *EuroHonka Log Houses*. Obtido de EuroHonka Log Houses: [http://www.eurohonka.fi/sites/default/files/media/pdf/eurohonka\\_esite\\_huivat\\_eng.pdf](http://www.eurohonka.fi/sites/default/files/media/pdf/eurohonka_esite_huivat_eng.pdf)
- European Environment Agency. (10 de Outubro de 2010). *Forest: growing stock, increment and fellings*. Obtido de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/forest-growing-stock-increment-and-fellings/forest-growing-stock-increment-and-4>
- European Panel Federation. (24 de Julho de 2015). *OSB user guide - Flooring*. Obtido de OSB - EPF: <http://www.osb-info.org/Assets/file/EN/userguides/Flooring.pdf>

- Eveno, C. (1988). *Alvar Aalto de l'ouvre aux écrits - De l'influence des matériaux et des structures*. Paris: Centre Georges Pompidou.
- FAO. (2012). *2012 - State of World's Forests*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Faria, F. (1997). *Análise dos sistemas construtivos portugueses*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Faria, J. A. (1996). *Divisórias leves prefabricada – concepção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados*. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- Fernandes, J. M. (1996). *Cidades e casas da Macaronésia*. Porto: FAUP Publicações.
- Ferreira, V. (2009). *Viabilidade técnico-económica de construções de madeira em Portugal*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - UTL.
- Fery, T. (2012). *La préfabrication dans la construction bois*. Strasbourg: Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg.
- Fleming, E. (2005). *Construction Technology*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Fonseca, I., & Machado, J. S. (2011). A madeira na edificação de paredes. *CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Ford, R. (1996). *The details of modern architecture, volume 2*. Cambridge: The MIT Press.
- Ford, R. (1997). *The details of modern architecture, volume 1*. Cambridge: The MIT Press.
- Forman, H. (1967). *The architecture of the old south*. New York: Russel & Russel.
- Foster, G. (2004). *American houses*. New York: Houghton Mifflin Harcourt.
- FP Innovations. (15 de Agosto de 2015). *Vertical movement in wood platform frame structures*. Obtido de Canadian Wood Council: <http://cwc.ca/wp-content/uploads/2013/11/vertical-movement-in-wood-platform-frame-structures-movement-prediction.pdf>
- Frampton, K. (1996). *Studies in tectonic culture*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Frampton, K. (1997). *Modern architecture a critical History*. London: Thames and Hudson.
- França, J. A. (1987). *Lisboa Pombalina e iluminismo*. Lisboa: Livraria Bertrand.
- Fritz Durán, A. (2004). *Manual - la construcción de viviendas en madera*. Santiago de Chile: Centro de Transferencia Tecnológica - Corporación Chilena de la Madera.
- Gaspar, P. L., & Palla, J. (2009). *Construções palafíticas da bacia do Tejo - Levantamento e diagnóstico do património construído*. Lisboa: CEFA - CIAUD.
- German Timber. (2006). *The world of timber*. Bonn: Holzabsatzfonds.
- Gerner, M. (2007). *Fachwerk - Entwicklung, Instandsetzung, Neubau*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Giedion, S. (2008). *Space, Time & Architecture*. Cambridge: Harvard University Press.
- Gold, S., & Rubik, F. (23 de Agosto de 2008). Consumer attitudes towards timber as a construction material and towards timber frame houses - Selected findings of a representative survey among the German population. *Journal of cleaner production* 17, pp. 303-309.
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Lisboa: INETI.
- Gould, M. E. (1965). *The early American house*. Vermont: Charles E. Tuttle.
- Gouveia, P. (s.d.). *Arquitetura baleeira nos Açores*. s.l.: Presidência do Governo Regional dos Açores - Gabinete de Emigração e Apoio às Comunidades Açorianas.
- Governo dos Açores. (4 de Outubro de 2015). *Criptoméria dos Açores - Cryptomeria japonica D. Don*. Obtido de Secretaria Regional da Agricultura e Ambiente - Direcção Regional dos Recursos Florestais: [http://drnf-srm.azores.gov.pt/areas/viveiros-florestais/Paginas/Criptomeria\\_Especies\\_PT.aspx](http://drnf-srm.azores.gov.pt/areas/viveiros-florestais/Paginas/Criptomeria_Especies_PT.aspx)
- Gowans, A. (1987). *The comfortable house*. Cambridge: The MIT Press.
- Gravagnuolo, B. (1988). *Adolf Loos*. Madrid: Nerea.
- Grohe, G. (Julio de 2001). El futuro de la construcción con madera. *Tectonica 13 - Madera (II) estructuras*, pp. 28-37.
- Grupo Pestana. (14 de Abril de 2014). Obtido de Pestana Tróia - Eco-resort &Residences: <http://www.pestanatroia.com/>
- Hakansson, S.-G. (2003). *From log to log-house*. Ottawa: Algrove Publishing.
- Hansen, H. J. (1971). *Architecture in wood*. London: Faber and Faber.

- Haun, L. (2008). *How to build a house*. Newtown: The Taunton Press.
- Hébert, J. (2007). *Culture built upon the land: A predictive model of nineteenth-century Canadian/Métis farmsteads - Thesis in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Arts in Applied Anthropology*. Corvallis: Oregon State University.
- Heinz, T. (2000). *The vision of Frank Lloyd Wright*. Rochester: Grange Books.
- Herbers, J. (2004). *Prefab modern*. New York: Collins Design.
- Hereford, B. (Janeiro - Fevereiro de 2009). Could balloon frame wall systems make a come back? *Structural Building Components Magazine*, pp. 16-23.
- Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M., & Winter, W. (2008). *Timber construction manual*. Basel: Birkhauser - Edition Detail.
- Hines, T. (1994). *Richard Neutra and the search for modern architecture*. Berkeley: University of California Press.
- Högman, H. (25 de Janeiro de 2014). *The History of Swedish X-joint log houses*. Obtido de Hans Högman's genealogy and history site: <http://www.hhogman.se/loghouses.htm>
- Honka. (05 de Julho de 2015). *Company releases*. Obtido de Honka: <http://www.honka.com/honkas-structural-solution-revolutionising-log-house-design>
- Honka. (3 de Junho de 2015). *Construction manual - Honka*. Obtido de Matix Lumber: [http://matixlumber.com/sites/castlematixlu2013/files/construction\\_manual\\_part\\_1.pdf](http://matixlumber.com/sites/castlematixlu2013/files/construction_manual_part_1.pdf)
- Honka. (21 de Outubro de 2015). *Honka*. Obtido de Honkalook: <http://www.honka.sk/uploads/wysiwyg/HonkaLook.pdf>
- Honka. (22 de Outubro de 2015). *Honka Fusion - Inspiration for architects*. Obtido de Lodgico bespoke timber buildings: [http://www.lodgico.co.uk/wp-content/uploads/2012/09/Honka\\_Fusion\\_-\\_Inspirations\\_for\\_Architects\\_2012-08-20\\_-\\_INT.pdf](http://www.lodgico.co.uk/wp-content/uploads/2012/09/Honka_Fusion_-_Inspirations_for_Architects_2012-08-20_-_INT.pdf)
- Hopkin, D. J. (2011). *The fire performance of engineered timber products and systems*. Loughborough: Loughborough University.
- Horning, J. (2009). *Simple shelters*. Shangai: Wooden Books.
- Houseplans. (24 de Outubro de 2015). *Houseplans*. Obtido de Houseplans: <http://www.houseplans.com>
- Hozumi, K. (1985). *What is Japanese architecture?* Tokyo: Kodansha International.
- ILBA. (2011). *Effetive practices & methods for Handcrafted log home construction*. Lumby: International Log Builders Association.
- INE. (2002). *SCH - Sub-sistema estatístico da construção e habitação - Glossário*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- INE. (05 de Julho de 2012). Base de dados: SIOU. *Operação estatística: Inquérito aos projectos de obras de edificação e demolição de edifícios (Q3)*. Lisboa, Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Estatística.
- INE. (2012). *Censos 2011 - Resultados definitivos*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- INE. (5 de Junho de 2012). *Os meus quadros*. Obtido de Instituto Nacional de Estatística: [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=7070&tipoSeleccao=1&contexto=mq&selTab=tab4&submitLoad=true](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=7070&tipoSeleccao=1&contexto=mq&selTab=tab4&submitLoad=true)
- INE. (30 de Julho de 2015). *Base de dados*. Obtido de Instituto Nacional de Estatística: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0008318&contexto=bd&selTab=tab2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008318&contexto=bd&selTab=tab2)
- INSULPAN. (24 de Março de 2015). *INSULPAN*. Obtido de INSULPAN Instalation Guide: <http://www.insulspan.com/downloads/InstallationGuide.pdf>
- International Code Council. (25 de Janeiro de 2015). *Floor cantilevers*. Obtido de 2012 International Code Council: [http://publicecodes.cyberregs.com/icod/irc/2012/icod\\_irc\\_2012\\_5\\_par017.htm](http://publicecodes.cyberregs.com/icod/irc/2012/icod_irc_2012_5_par017.htm)
- IPQ. (2010). *Regras e procedimentos para a normalização portuguesa - Versão 1/2010*. Instituto Português da Qualidade.
- ISO. (2001). *ISO 12006-2*. Geneva: ISO.
- Ivanova, P. (2010). *The designing, construction and maintenance of the Honka log houses. Guidelines for Russian customers - Bachelor thesis*. Lappeenranta: Saimaa University of Applied Sciences.
- Jerónimo, R. (2009). *Construção em madeira - Exigências para a certificação energética*. Lisboa: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil.
- Jones, J. (1986). *Handbook of construction contracting - volume 1*. U.S.A.: Craftsman Book Company.

- Jonsson, R. (2009). *Prospects for timber frame in multi-storey house building in England, France, Germany, Ireland, the Netherlands and Sweden*. Vaxjö: School of Technology and Design.
- Jorge, L. (2013). Edifícios construídos com painéis de madeira lamelada-colada cruzada (X-LAM). Em P. Lourenço, J. Branco, H. Cruz, & L. Nunes, *Casas de madeira - Seminário LNEC, Lisboa, 2013* (pp. 49-62). Lisboa: Universidade do Minho.
- Jormakka, K., Schürer, O., & Kuhlmann, D. (2013). Design methods. Em B. Bielefeld, *Basics architectural design*. Basel: Birkhauser Verlag.
- Kaila, P. (1998). Tratados e Historia de la construcción en Finlandia. *Boletín de informació técnica nº 196 nov/dec*.
- Kalman, H. (1994). *A History of Canadian Architecture - Volume 2*. Toronto: Oxford University Press.
- Kalman, H. (1995). *A History of Canadian Architecture - Volume 1*. Toronto: Oxford University Press.
- Karacabeyli, E., & Douglas, B. (2013). *CLT handbook - Cross Laminated Timber (U.S. Edition)*. Point-Claire: FPInnovations.
- Kawashima, C. (2000). *Japan's folk architecture - Traditional tatched houses*. Tokyo: Kodansha International.
- Keil Amaral, F., & AAVV. (1988a). *Arquitectura popular em Portugal - 1º Vol*. Lisboa: Associação dos Arquitectos Portugueses.
- Keil Amaral, F., & AAVV. (1988b). *Arquitectura popular em Portugal - 2º Vol*. Lisboa: Associação dos Arquitectos Portugueses.
- Keil Amaral, F., & AAVV. (1988c). *Arquitectura popular em Portugal - 3º Vol*. Lisboa: Associação dos Arquitectos Portugueses.
- Kimmelman, M. (15 de Abril de 2014). *The ascension of Peter Zumthor*. Obtido de The New York Times: [http://www.nytimes.com/2011/03/13/magazine/mag-13zumthor-t.html?pagewanted=all&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2011/03/13/magazine/mag-13zumthor-t.html?pagewanted=all&_r=0)
- King, P. R. (31 de Janeiro de 2014). *A complete guide to making a Mongolian Ger*. Obtido de [http://zinelibrary.info/files/Build\\_your\\_own\\_yurt.pdf](http://zinelibrary.info/files/Build_your_own_yurt.pdf)
- Kingspan. (03 de Julho de 2015). *TEK Building System*. Obtido de Kingspan SIP Systems - UK: <http://www.kingspantek.co.uk/Products/TEK-Building-System/TEK-Building-System>
- KLH. (2011). *Component Catalogue for multi-storey residential buildings*. Londres: KLH Massivholz GmbH.
- KLH Massivholz GmbH. (18 de Julho de 2013). *Component catalog for building your own home*. Obtido de KLH UK: [http://www.klhuk.com/media/33474/klh\\_component%20catalogue%20for%20building%20your%20own%20home\\_version%2001\\_2011.pdf](http://www.klhuk.com/media/33474/klh_component%20catalogue%20for%20building%20your%20own%20home_version%2001_2011.pdf)
- KLH Massivholz GmbH. (16 de Julho de 2013a). *Construction suggestions - Version 2007*. Obtido de TISEM: [http://www.tisem.pt/wp-content/uploads/2012/04/KLH\\_Konstruktionsvorschlaege\\_Systemkatalog\\_englisch.pdf](http://www.tisem.pt/wp-content/uploads/2012/04/KLH_Konstruktionsvorschlaege_Systemkatalog_englisch.pdf)
- KLH Massivholz GmbH. (04 de Julho de 2013b). *KLH - Component catalogue for cross laminated timber structures*. Obtido de KLH UK: [http://www.klhuk.com/media/30351/klh\\_component%20catalogue%20for%20cross%20laminated%20timber%20structures\\_version%2001\\_2011.pdf](http://www.klhuk.com/media/30351/klh_component%20catalogue%20for%20cross%20laminated%20timber%20structures_version%2001_2011.pdf)
- KLH Massivholz GmbH. (03 de Julho de 2013c). *KLH - Engineering*. Obtido de KLH UK: <http://www.klhuk.com/media/16583/klh%20engineering%20en%202008.pdf>
- KLH UK. (16 de Julho de 2013). *Carbon neutral construction*. Obtido de TRADA: [http://www.trada.co.uk/jail/downloads/dir/memberBrochures/EEDBDFF7-CBFC-4FC0-B55E-89A6D5EE156A/KLH\\_Company\\_Brochure.pdf](http://www.trada.co.uk/jail/downloads/dir/memberBrochures/EEDBDFF7-CBFC-4FC0-B55E-89A6D5EE156A/KLH_Company_Brochure.pdf)
- KLH UK. (17 de Julho de 2013a). *Design process*. Obtido de KLH UK: [http://www.klhuk.com/media/17602/design%20process%20literature%20\(with%20samples\).pdf](http://www.klhuk.com/media/17602/design%20process%20literature%20(with%20samples).pdf)
- KLH UK. (13 de Julho de 2013b). *Frequently Asked Questions*. Obtido de KLH UK: [http://www.klhuk.com/media/11553/frequently%20asked%20questions\\_05042011\\_1.pdf](http://www.klhuk.com/media/11553/frequently%20asked%20questions_05042011_1.pdf)
- KNAUF. (25 de Fevereiro de 2015). *EcoBatt thermal/acoustical insulation*. Obtido de Knaufinsulation: <http://www.knaufinsulation.ca/sites/ca.knaufinsulation.com/files/EcoBatt%20Glasswool%20-%20datasheet.pdf>
- KNAUF. (26 de Fevereiro de 2015). *Knauf standard A*. Obtido de Knauf: [http://www.knauf.es/images/knauf/documentacion/Productos/placas/K%20711B\\_es%20Standard%20A%20\(2014-08\).pdf](http://www.knauf.es/images/knauf/documentacion/Productos/placas/K%20711B_es%20Standard%20A%20(2014-08).pdf)
- Kolb, J. (2008). *Systems in timber engineering*. Basel: Birkhauser.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15, No. 3, 259-263 (June 2006), 259-263.
- Kronofrance. (25 de Fevereiro de 2015). *Kronoply - Conselhos de utilização*. Obtido de Jular: <http://www.jular.pt/pdf/OSB-conselhos-utilizacao.pdf>

- Kucker, P. (2002). Framework: construction and space. *The journal of architecture*, volume 7, Summer, 171-190.
- Kuusamo Log Houses. (09 de Julho de 2015). *Kuusamo Logsystem*. Obtido de Kuusamo Log Houses: <http://www.kuusamohouses.com/en/our-product/kuusamo-logsystem.html>
- Lawson, B. (2004). *What designers know*. Oxford: Architectural Press.
- Lawson, B. (2005). *How designers think - The design process demystified*. Oxford: Architectural Press, Elsevier.
- Le Corbusier. (1924). *Vers une architecture*. Paris: Les editions G. Crès.
- Ledohowski, E., & Butterfield, D. (1983). *Architectural heritage - The Western Interlake planning district*. Winnipeg: Department of Cultural Affairs and Historical Resources.
- Lewandoski, J. L. (1985). The plank framed house in Northeastern Vermont. *Vermont History - The proceedings of the Vermont Historical Society* (pp. 104-121). Vermont: Vermont Historical Society.
- Lewis, M. (07 de Julho de 2015). *Illustrated lectures*. Obtido de Miles Lewis: <http://www.mileslewis.net/illustrated-contents/>
- Light House. (2009). *Overview of green building rating systems and their relationship(s) with wood*. Vancouver: Light House Sustainable Building Centre.
- Lino, R. (1933). *Casas portuguesas*. Lisboa: Valentim de Carvalho.
- LNEC. (2012). *Documento de homologação - Rusticasa sistema de construção industrializada DH 915*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- LNEC. (14 de Maio de 2012). *Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG)*. Obtido de Laboratório Nacional de Engenharia Civil: <http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/etags>
- LNEC. (1 de Outubro de 2013). *Eurocódigos - Situação em Portugal*. Obtido de LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil: [http://www.lnec.pt/qpe/eurocodigos/situacao\\_em\\_portugal](http://www.lnec.pt/qpe/eurocodigos/situacao_em_portugal)
- Log Homes Council. (2003). *The energy performance of log homes*. Hartland: National Association of Home Builders.
- Lopes, D. B. (2006). *Seminário de construção em madeira*. Porto: Ordem dos Arquitectos.
- Lower, A. (1973). *Great Britain's woodyard - British America and the timber trade. 1763-1867*. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- Lyon, E. K. (2006). Power by construction: Which cities where? Problems in XVth century timber supplies, sawmills, and labor. Em W. Brake, & W. Klooster, *Power and the city in the Netherlandic world* (pp. 103-122). Leiden: Brill.
- Machado, J. S., Dias, A., Cruz, H., & Custódio, J. E. (2009). *Avaliação, conservação e reforço de estruturas de madeira*. Lisboa: Verlag Dashöfer.
- Martins, S. (2009). *Estruturas de madeira - Inspeção e diagnóstico. Aplicação em caso de estudo*. Guimarães: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Martítegui, F. A., Herrero, M. E., & González, G. I. (2010). *Construir con madera*. Madrid: Confemadera.
- Mascarenhas, J. (2006). *Sistemas de construção - III Paredes*. Lisboa: Livros Horizonte.
- Mascarenhas, J. (2009). *Sistemas de construção - V O edifício de rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa. 3ª ed.* Lisboa: Livros Horizonte.
- Massivholzmauer Entwicklungs GmbH. (11 de Março de 2014). *Behaglich wohnen und gut für das klima*. Obtido de MHM massivholz-mauer: [http://massivholzmauer.it/en/prospekte\\_zur-mhm.html](http://massivholzmauer.it/en/prospekte_zur-mhm.html)
- Masuda, T. (1969). *Japon*. Fribourg: Office du Livre.
- Materna, A., & Lokaj, A. (2008). Ultimate limit states - Joints. Em *Handbook 1 - Timber structures* (pp. 119-135). Leonardo da Vinci Pilot Project.
- Mateus, T. (1960). *Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira*. Lisboa: LNEC.
- May, J. (2010a). *Handmade houses*. London: Thames & Hudson.
- McLuhan, M. (1976). *Una visión de la construcción industrializada*. Barcelona: Gustavo Gili.
- McMorrhough, J. (2006). *Materials standards structures*. Massachusetts: Rockport.
- Mello, R. (2007). *Projectar em madeira: Uma nova abordagem*. Brasília: Faculdade de Arquitectura da Universidade de Brasília.
- Mendonça, P. (2005). *Habitar sob uma segunda pele - Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Guimarães: Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil.
- Merrit, F., & Ricketts, J. (2000). *Building design and construction handbook*. New York: McGraw-Hill.



- Mestre, V. (2002). *Arquitectura popular da Madeira*. Lisboa: Argumentum.
- Metha, M., Scarborough, W., & Ampriest, D. (2011). *Building construction - Principles, materials, and systems*. Boston: Pearson.
- Milisauskas, S. (2002). *European PreHistory - A survey*. New York: Springer.
- Milne, D. (1984). *The handbook of Canadian log building*. Muir Publishing Company.
- Mitchel, J. (1997). *The craft of modular post & beam*. Vancouver: Hartley & Marks.
- Moogk, P. (1977). *Building a house in New France*. Toronto: McClelland and Stewart.
- Morgado, L., & Pedro, J. (2011). *Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal - Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização - Relatório 118/2011 - NAU*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Morgado, L., Guedes, M. C., Ferreira, J. G., & Cruz, H. (2012). Classificação de sistemas de construção em madeira para habitação. *Livro de Resumos do 4º Congresso Construção 2012* (p. 282). Coimbra: Universidade de Coimbra, ITeCons.
- Mortier, P. (2000). Produtos técnicos à base de madeira (engineered wood products) para a construção. Em *Estruturas de Madeira - Reabilitação e inovação*. Lisboa: GECO-PRA.
- Morse, E. (1895). *Japanese homes and their surroundings*. New York: Harper & Brothers Franklin Square.
- Moyan, L. (2009). Structure evolution of Hallenhäuser in Hamburg countryside. Em R. d'Alençon, & F. Kramm, *Carriers of space patterns and construction types* (pp. 38-45). Berlin: TU-BERlin.
- Musick, M. (1999). *Alaska log building construction guide*. Anchorage: Alaska Housing Finance Corporation.
- Mydlarz, K. (2011). Contemporary timber-frame construction systems in Europe. *Ann. WULS-SGGW, Forestry and Wood Technology No 75*, 122-126.
- Natterer, J. (2008). Part 4 Timber engineering. Em T. Herzog, J. Natterer, R. Schweitzer, M. Volz, & W. Winter, *Timber construction manual* (pp. 76-139). Basel: Birkhäuser.
- Natterer, J., Herzog, T., & Volz, M. (1999). *Atlante del legno*. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese.
- Nauta Home Designs. (24 de 10 de 2015). *Home*. Obtido de Nauta Home Designs: <http://www.nautahomedesigns.com/>
- Negrão, F., & Faria, A. (2009). *Projecto de estruturas de madeira*. Porto: Publindústria.
- Neufert, E., & Neufert, P. (2002). *Architects' Data*. Oxford: Blackwell Science.
- Neves, J. M. (2007). *Casas Ibéricas*. Casal de Cambra: Caleidoscópio.
- Nitschke, G. (2002). Architecture and aesthetic of an island people. Em C. Schittich, *Japan - Architecture constructions ambiances* (pp. 14-30). München, Basel: Detail, Birkhäuser.
- Normerica. (19 de Outubro de 2015). *Shell comparison*. Obtido de Normerica Timber: <http://www.normerica.com/complete-shell-package-comparison>
- Nuttgens, P. (1993). *The story of architecture*. London: Phaidon.
- OCCS Development Committee Secretariat. (29 de Maio de 2012). *Omniclass - A strategy for the built environment*. Obtido de Omniclass - A strategy for the built environment: [http://www.omniclass.org/tables/OmniClass\\_Main\\_Intro\\_2006-03-28.pdf](http://www.omniclass.org/tables/OmniClass_Main_Intro_2006-03-28.pdf)
- Olgay, V. (2002). *Arquitectura y Clima - Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Oliveira, M. A., Silva, S. M., Branco, J. M., Bragança, L. M., & Lourenço, P. B. (2012). Avaliação em laboratório do comportamento térmico de soluções construtivas em madeira. *Congresso Construção 2012*. Coimbra: Universidade de Coimbra - Departamento de Engenharia Civil.
- Oliver, P. (1987). *Dwellings - The house across the world*. Austin: University of Texas Press.
- Östman, B. (2013). Fire safety in timber buildings. *Casas de madeira* (pp. 39-48). Lisboa: LNEC.
- Palmer, S. (2000). *Sustainable Homes: Timber frame housing*. Kent: Sustainable Homes.
- Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia. (2010). *Obrigações dos operadores que colocam no mercado madeira e produtos da madeira - Jornal Oficial da União Europeia PT 12.11.2010*. Bruxelas, União Europeia: União Europeia.
- Pedro, J. B. (2001). *Programa Habitacional - Habitação*. Lisboa: LNEC.
- Pedro, J. B. (2003). *Definição e avaliação da qualidade arquitectónica habitacional*. Lisboa: LNEC.

- Penn, A., Mottram, C., Schieck, A. F., Wittkämper, M., Störing, M., Romell, O., . . . Aish, F. (2004). Augmented reality meeting table: a novel multi-user interface for architecture. *Recent advances in design and decision support systems in architecture and urban planning* (pp. 213-231). New York: Kluwer Academic Publishers.
- Pennsbury Manor. (02 de Maio de 2015). 1665. Obtido de Pennsbury Manor: <http://www.pennsburymanor.org/wp-content/uploads/2012/02/Great-Fire-of-London.jpg>
- Peraza Sánchez, J., Arriaga Martitegui, F., Arriaga Martitegui, C., Gonzáles Alvarez, M., Peraza Sánchez, F., & Rodríguez Nevado, M. (1995). *Casas de madera - Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.
- Pereira, N. T., & Buarque, I. (1995). *Prédios e vilas de Lisboa*. Lisboa: Livros Horizonte.
- Phleps, H. (1982). *The craft of log building*. Ottawa: Lee Valley Tools Ltd.
- Pickartz, B. (3 de Março de 2012). *Timber frames*. Obtido de LinkedIn: [http://www.linkedin.com/groups/We-are-all-asked-difference-2829487.S.99020147?gid=058b6ef3-2ddc-42df-aafe-1551e8cf42d7&trk=group\\_items\\_see\\_more-0-b-ttl](http://www.linkedin.com/groups/We-are-all-asked-difference-2829487.S.99020147?gid=058b6ef3-2ddc-42df-aafe-1551e8cf42d7&trk=group_items_see_more-0-b-ttl)
- Pinto Duarte, J. (2007). *Personalizar a habitação em série: Uma gramática discursiva para as casas da Malagueira do Siza*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian e Fundação para a Ciência e Tecnologia.
- Piqué, J. (1984). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino*. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Planet Ark Environmental Foundation. (21 de Setembro de 2015). *Market it*. Obtido de Wood Encouragement Policies: <http://makeitwood.org/made-from-wood/public-buildings.cfm>
- Portas, N. (2005). Arquitectura: Forma de conhecimento - Forma de comunicação. Em Portas, Nuno, *Arquitecturas(s) Teoria e desenho, investigação e projecto* (pp. 21-37). Porto: FAUP Publicações.
- Portugal. (2006). Regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos. *Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto*. Diário da República, 1.ª série - N.º 152 - 8 de Agosto de 2006.
- Portugal. (2008a). Elementos que devem instruir os pedidos. *Portaria n.º 232/2008 de 11 de Março*. Diário da República, 1.ª série - N.º 50 - 11 de Março de 2008.
- Portugal. (2008b). Instruções para a elaboração de projectos de obras. *Portaria n.º 701-H/2008 de 29 de Julho*, 5106-(37)-5106-(80). Portugal: Diário da República, 1.ª série - N.º 145.
- Portugal. (2008c). Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. *Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio*. Diário da República, 1.ª série - N.º 110 - 9 de Junho de 2008.
- Portugal. (2008d). Regulamento técnico de segurança contra incêndio. *Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro*. Portugal: Diário da República, 1.ª série - N.º 250 - 29 de Dezembro de 2008.
- Portugal. (2010a). Regime jurídico da urbanização e da edificação. *Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro (com as alterações até ao Decreto-Lei N.º 26/2010 de 30 de Março)*. Diário da República, 1.ª série - n.º 62 - 30 de Março de 2010.
- Portugal. (2010b). Regulamento que fixa os pesos e as dimensões. *Decreto-Lei n.º 133/2010*. Diário da República, 1.ª série - N.º 246 - 22 de Dezembro de 2010.
- Portugal. (2013). Parâmetros para o zonamento climático. *Despacho n.º 15793-F/2013*. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de Dezembro de 2013.
- Precision Craft - Log & Timber Homes. (07 de Julho de 2015). *Designing your timber or log home*. Obtido de Precision Craft - Log & Timber Homes: <http://www.precisioncraft.com/DesignBuild/ConceptualDesign.html>
- Premrov, M. (2008). Timber frame houses. *Handbook 1 - Timber structures*, 180-198.
- Provost, P.-J. (2010). *Construire sa maison en bois*. Paris: Éditions du Chêne - Hachet - Livre.
- Pryce, W. (2005). *Architecture in wood*. London: Thames & Hudson.
- Raeburn, M. (1986). *Architecture of the western world*. London: Orbis publishing.
- Rakennustiето Oy. (2006). *Zumthor spirit of nature Wood Architecture Award 2006*. Helsinki: Wood in Culture Association.
- Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. London: Prentice-Hall International.
- Rego, D. (2012). *Estruturas de edifícios em Light Steel Framing - Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.
- Rempel, J. (1972). *Building with wood*. Toronto: University of Toronto Press.
- Rhein zinc. (1 de Outubro de 2015). *Technical downloads*. Obtido de Rhein zinc: <http://www.rhein zinc.co.uk/fileadmin/inhalt/bilder/ebooks/858299956521f232390b7a/index.html>

Richie, T. (1979). *Building research note - Log and timber structures of the Ottawa area*. Ottawa: Division of Building Research - National Research Council of Canada.

Ricketts, J. T., & Merrit, F. S. (2000). *Building design and construction handbook* (6ª ed.). New York: McGraw-Hill.

Riley, T., & Bergdoll, B. (2002). *Mies in Berlin*. New York: MOMA.

Riverbend Timber Framing. (19 de Outubro de 2015). *Custom construction solutions*. Obtido de Riverbend Timber Framing: <http://www.riverbendtf.com/thr/construction.html>

Rodriguez Nevado, M. (1999). *Diseño estructural en madera*. Madrid: AITIM - Asociación de Investigación de las Técnicas de las Industrias de la Madera y del Corcho.

Rogers, M. (2012). *The use of a multi-criteria decision model to choose between different structural forms within modern office construction*. Dublin: Dublin Institute of Technology. MPhil Thesis.

Roos, P., Metten, C., & Holloway, A. (2007). *Green Oak in construction*. High Wycombe: Trada.

Roselló, G. (2001). El futuro de la construcción en madera. *Tectonica 13 - Madera (II) estructuras*, 31-32.

Rothoblaas. (25 de Fevereiro de 2015). *Guia para habitação em madeira*. Obtido de Rothoblaas: <http://www.rothoblaas.com/pt/pt/catalogos/topicos.html>

Roy, R. (2004). *Timber framing for the rest of us*. Gabriola Island: New Society Publishers.

Russel, F. (1986). *Mies van der Rohe*. London: Academy Editions.

Rusticasa. (12 de Novembro de 2015). *Rusticasa*. Obtido de Rusticasa: <http://www.rusticasa.pt/>

Rykwert, J. (1993). *On Adam's house in Paradise*. Cambridge: The MIT Press.

San Juan Timber Frames. (23 de Março de 2015). *Architect's guide to San Juan Timber Frames*. Obtido de San Juan Timber Frames: <http://sanjuantimberframes.com/pdf/TimberframeDesignGuide.pdf>

San Juan Timber Frames. (23 de Março de 2015a). *San Juan Timber Frames*. Obtido de Timberframe FAQ: <http://sanjuantimberframes.com/faq.html>

San Juan Timberwrights. (24 de Outubro de 2015). *San Juan Timberwrights*. Obtido de San Juan Timberwrights: <http://sanjuantimber.com>

Santos, A. (2008). *Comportamento térmico e acústico de pré-fabricados de madeira*. Aveiro: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil.

Santos, J. A., Duarte, M. C., Santos, J. M., & Luis, P. (2011). Bem utilizar madeiras portuguesas na construção/reabilitação. *CIMAD 11 - 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra, Portugal*. Coimbra: Universidade de Coimbra.

Samitz, A. (2003). *Adolf Loos 1870-1933*. Cologne: Taschen.

Savage, V., & Lee, M. (1984). *A field guide to American houses*. New York: Alfred A. Knopf.

Schein, E. (1968). *The influence of design on exposed wood in buildings of the Puget Sound area*. Portland: US Department of Agriculture Forest Service.

Schierle, G. (2006). *Architectural structures - Excerpts*. Los Angeles: University of Southern California.

Schildt, G. (1986). *Alvar Aalto - The decisive years*. New York: Rizzoli.

Schjelderup, H., & Storsletten, O. (1999). *Grindbygde hus i Vest-Norge*. Trondheim: NINA-NIKUs.

Schmithüsen, F. (2013). Three hundred years of applied sustainability in forestry. *Unasylva - vol.64 - n.º 240*, pp. 3-12.

Schmitt, H. (1992). *Tratado de construccion - Elementos estructuras y reglas fundamentales de la construcción*. Barcelona: Gustavo Gili.

Sears Brands. (27 de Abril de 2015). *Sears homes 1927-1932*. Obtido de Sears Archives: [http://www.searsarchives.com/homes/images/1927-1932/1932\\_3356.jpg](http://www.searsarchives.com/homes/images/1927-1932/1932_3356.jpg)

Shurtleff, H. (1967). *The log cabin myth*. Gloucester: Peter Smith.

Sigurðardóttir, S. (2012). *Traditional building methods*. Skagafjörður: Skagafjörður Heritage Museum.

Silva, C., Branco, J., & Rodrigues, V. (2011). Alvenaria estrutural com elementos de madeira. *CIMAD 11 - 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011*. Coimbra: Departamento da Engenharia Civil da FCTUC.

Silva, R., & Ino, A. (2008). *Habitação econômica no Brasil: Estado da arte. XI Encontro brasileiro em madeira e estruturas de madeira*. Londrina: Ebramem.

- SIPCO. (03 de Junho de 2015). *Design guide - Part 1: Structural design*. Obtido de SIPCO Structural Insulated Panels: [http://www.thesipcompany.com/images/stories/Downloads/SBS\\_Design\\_Guide.pdf](http://www.thesipcompany.com/images/stories/Downloads/SBS_Design_Guide.pdf)
- SipsEcoPanels. (13 de Junho de 2015). *What are SIPs (Structural Insulated Panels)?* Obtido de SipsEcoPanels: <https://sipsecopanel.co.uk/sips/what-are-sips/>
- Smith, R. (2011). *Prefab Architecture: a guide to modular design and construction*. New Jersey: Wiley.
- Sobon, J., & Schroeder, R. (1984). *Timber frame construction - All about post-and-beam building*. Storey Publishing.
- Solid Wood Life .sprl & SEAR .sprl. (2010). *PMB Dossier Technique*. Hermée: Solid Wood Life .sprl & SEAR .sprl.
- Sousa Cunha, Turismo S.A. (14 de Abril de 2014). *Serviced residences*. Obtido de L'And Vineyards: <http://www.l-andvineyards.com/pt/residencias/>
- Spence, W. (2003). *Building your dream house*. New York: Sterling Publishing.
- Stabe, D. F. (2009). *German half-timbered house road*. Fulda: Deutsche Fachwerk Stabe.
- Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). *Components and systems - Modular construction - Design, structures, new technologies*. München: Detail - Birkhäuser.
- Stearns, M. (2004). Building in the climate of the New World: A cultural or environmental response? *TDSR, Volume XV, issue II*, 49-60.
- Steele, J. (2009a). *The Greenwood encyclopedia of homes through world History - Volume I*. Westport - London: Greenwood Press.
- Steele, J. (2009b). *The Greenwood encyclopedia of homes through world History - Volume II*. Westport - London: Greenwood Press.
- Steiger, L. (2007). *Timber construction*. Basel: Birkhauser.
- Steko. (3 de Março de 2014). *Steko building blocks for your ideas*. Obtido de Steko Holz-Bausysteme AG: <http://www.steko.ch/fileadmin/ablage/dokumente/steko-building-blocks-for-your-ideas.pdf>
- Stora Enso. (15 de Novembro de 2015). *A\_Shell construction*. Obtido de Stora Enso: <http://www.clt.info/shell-construction/>
- Stora Enso. (16 de Novembro de 2015). *C\_Details*. Obtido de Stora Enso: <http://www.clt.info/details/>
- Stora Enso. (23 de Outubro de 2015). *Single family houses*. Obtido de Stora Enso: <http://www.clt.info/en/projekte/>
- Stora Enso. (31 de Julho de 2015). *Solid construction timber*. Obtido de Stora Enso: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/SE%20KVH%20brochure%202012%20EN.pdf>
- Stora Enso. (30 de Julho de 2015). *Stora Enso post and beam construction*. Obtido de Stora Enso: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/Post%20and%20Beam%20construction%20image%20brochure%20EN.pdf>
- Stora Enso. (23 de 10 de 2015). *Technical specifications*. Obtido de Stora Enso: <http://www.clt.info/en/product/technical-specifications/clt-standard-structures/>
- Streamline Design. (08 de Julho de 2015). *The design process*. Obtido de Streamline Design: <http://www.streamlinedesign.ca/Custom-Design.html?>
- Strike, J. (2004). *De la construction a los proyectos*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Suter, P., & Schlicherle, H. (2009). *Palaffites*. Bern: UNESCO World Heritage Candidature 'Prehistoric Pile Dwellings around the Alps' Candidature.
- Svensson, N. (13 de Janeiro de 2014). *Finland - Norge 2007-01-17 - Puuinfo*. Obtido de PUUINFO: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalot/Ruotsi%201.pdf>
- Sweet, R. (01 de Dezembro de 2011). Planing. *Log Home Living*, pp. 22-56.
- TecWood concept. (11 de Março de 2014). *Wood building systems*. Obtido de Tecwood: <http://www.tecwood.com/en/building-systems.html>
- Teixeira, G., & Belém, M. (1998). *Diálogos de edificação*. Porto: CRAT - Centro Regional de Artes Tradicionais.
- Thalon, R. (2009). *Graphic guide to frame construction*. Newtown: The Taunton Press.
- Thanoon, W., Peng, L. W., Kadir, M. R., Jaafar, M. S., & Salit, M. S. (2003). The essential characteristics of industrialised building system. *International Conference on Industrialised Building Systems*, (pp. 283-292). Kuala Lumpur.
- Timber Development Association. (2012). *Massive timber construction systems*. St Leonards: Forest and Wood Products Australia.

- Timber, T. L. (7 de Julho de 2015). *Frequently asked questions*. Obtido de Tye Log & Timber: <http://www.tyeelohomes.com/newsroom/faq>
- TISEM. (2005). *Construção Passive House com painéis CLT*. Figueira da Foz: TISEM.
- TISEM. (10 de Dezembro de 2012). *TISEM - Tecnologia, Inovação, Sustentabilidade*. Obtido em 02 de 07 de 2013, de TISEM - Tecnologia, Inovação, Sustentabilidade: <http://www.tisem.pt/>
- TISEM. (2014). *Construção com painéis de madeira CLT - Uma nova geração de edifícios*. Guimarães: TISEM.
- Torres, J. (2010). *Sistemas construtivos modernos em madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- TRADA. (2008). *Timber frame construction*. Buckinghamshire: TRADA.
- TRADA; IStructE. (2007). *Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5*. London: IStructE - Institute of Structural Engineers.
- Tree Top Timber Frames. (07 de Julho de 2015). *Frequently asked questions*. Obtido de Tree Top Timber Frames: <http://www.timberframes.ca/faq.html>
- Trussed Rafter Association. (18 de Março de 2015). *Room in Roof (RIR) trussed rafters*. Obtido de MUIR Timber Systems: <http://www.muirtimbersystems.co.uk/technical/TRA-Truss-Details.pdf>
- Turan, M. (2009). Reconstructing the balloon frame: A study in the History of architectonics. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, vol. 26, issue 2, 175-209.
- Tutiriv Editorial. (Dezembro de 2010). Um projecto em madeira de grande beleza arquitectónica. *Casas de madeira* nº 14, pp. 52-56.
- Ulrich, R. (2007). *Roman woodworking*. New Haven: Yale University Press.
- UNESCO World Heritage Centre. (15 de Dezembro de 2013). *World heritage list - Bryggen*. Obtido de UNESCO: <http://whc.unesco.org/en/list/59>
- União Europeia. (9 de Março de 2011). Regulamento (UE) N.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial da União Europeia*, pp. L 88/5 - L88/43.
- USDA Forest Service. (2010). *Wood handbook - Wood as an engineering material*. Madison: United States Department of Agriculture Forest Service.
- Uva, J. (2013). *6.º Inventário florestal nacional - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal (vers. 1.1)*. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- Valle, I. (2011). *A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas*. São Carlos: Universidade de São Paulo.
- Vasconcelos, G., Lourenço, P., & Poletti, E. (2013). An overview on the seismic behaviour of timber frame structures. *Proceedings of the 1st international symposium on Historic earthquake-resistant timber frames in the Mediterranean region*. Cosenza: H.Ea.R.T.2013.
- Vaz, S. M. (2008). *Avaliação técnica e económica de casas pré-fabricadas em madeira maciça - Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Veiga de Oliveira, E., & Galhano, F. (1964). *Palheiros do litoral central Português*. Lisboa: Instituto de Alta Cultura - Centro de Estudos de Etnologia Peninsular.
- Veiga de Oliveira, E., & Galhano, F. (1994). *Arquitectura tradicional Portuguesa*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Veiga de Oliveira, E., Galhano, F., & Pereira, B. (1994). *Construções primitivas em Portugal*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Vicens, A., & Bahamón, A. (2008). *Cabana, da Arquitectura vernácula à contemporânea*. Lisboa: Argumentum.
- Viljakainen, M. (2003). *The open timber construction system - Architectural design*. Finland: Wood Focus Oy.
- Vitrúvio. (2006). *Vitrúvio. Tratado de arquitectura*. Lisboa: IST Press.
- Volz, M. (2008). Protecting wood. Em *Timber construction manual*. Basel: Birkhauser.
- Wahl, A. (2008). *Wood market trends in Europe*. Vancouver: FP Innovations.
- Walker, L. (2002). *American homes - An illustrated encyclopedia of domestic architecture*. New York: Black Dog & Leventhal Publishers.
- Watson, D., Crosbie, M., & Callender, J. (1999). *Time saver standards for architectural design data*. New York: Mc Graw Hill.
- Watts, A. (2014). *Modern construction series: Modern construction envelopes*. Vienna: Ambra Verlag.

- Welsh, J. (1996). *Modern house*. London: Phaidon.
- Weslager, C. (1969). *The log cabin in America*. New Jersey: Rutgers University Press.
- Weyerhaeuser. (24 de Julho de 2015). *Floor, roof and wall panel installation*. Obtido de Weyerhaeuser: [www.woodbywy.com/document/osb-4004/](http://www.woodbywy.com/document/osb-4004/)
- Whitaker, R., & Whitaker, R. (2005). Overhanging decks: How far can you go? Em S. B. (ed.), *Residential structure & framing* (pp. 77-80). Williston: The Journal of Light Construction.
- Wing, C. (2009). *The visual handbook of building and remodeling - A comprehensive guide to chose the right materials and systems for every part of your home*. Newtown: The Taunton Press.
- Wise - Investimentos Imobiliarios, SA. (14 de Abril de 2014). Obtido de Vila Utopia: <http://www.vilautopia.com/>
- Wolfe, R. (2008). *Pole building - The complete "how to" book fully illustrated*. Storey Publishing, LLC.
- Wood Works. (28 de Fevereiro de 2012). *Introduction to post frame construction, building & design*. Obtido de Wood Works: <http://woodworks.org/wp-content/uploads/C-WSF-2012-Manbeck-PF-TX-VA.pdf>
- XLAM NZ. (20 de Outubro de 2015). *Span Tables*. Obtido de Xlam: [file:///D:/EbookArch/Madeira/Madeira-Sistemas/Sistema%20de%20Painéis%20Pesados%20de%20lamelados%20cruzados%20colados/WebSpanTables\\_0.pdf](file:///D:/EbookArch/Madeira/Madeira-Sistemas/Sistema%20de%20Painéis%20Pesados%20de%20lamelados%20cruzados%20colados/WebSpanTables_0.pdf)
- Yoshida, N. (1998). *Peter Zumthor*. Tokyo: Architecture and Urbanism.
- Zevi, B. (1980). *Frank Lloyd Wright*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Zevi, B. (1984). *A linguagem moderna da arquitetura*. Lisboa: Publicações D. Quixote.
- Zunde, J., & Bougdah, H. (2006). *Integrated strategies in architecture*. Oxford: Taylor & Francis.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Transferência formal da madeira para a pedra no templo grego na interpretação de Choisy (Choisy, 1899).....	9
Fig. 2 - Hipótese de configuração dos componentes templos gregos primitivos segundo Durm (Hansen, 1971).....	9
Fig. 3 - Cabana primitiva. Sistema de componentes reticulados leves - William Chambers (Rykwert, 1993).....	10
Fig. 4 - Cabana primitiva. Sistema de porticados pesados antecipando o templo grego - William Chambers (Rykwert, 1993).....	10
Fig. 5 - Incêndio na Albion Flour Mill em 1791 (Addis, 2007).....	11
Fig. 6 - Sistemas contra incêndio, 1890 (Addis, 2007).....	11
Fig. 7 - Catedral de Chartres, Chartres (1194-1260) - Estrutura da cobertura em ferro forjado executada em 1837 (Addis, 2007).....	12
Fig. 8 - Halle au Blé, Paris (1808-13) - Fotografia obtida durante os trabalhos de reconstrução da cúpula (Addis, 2007).....	12
Fig. 9 - Edifício da fábrica de chocolates Menier, Noisiel, França (1872). Projecto Eng. Armand Moisan, Arq. Jules Saulnier (Addis, 2007).....	13
Fig. 10 - Crystal Palace, Hyde Park, Londres (1851) ( <a href="http://www.ecole.co/classics/paxton/crystal-palace-london-england/image-711/">http://www.ecole.co/classics/paxton/crystal-palace-london-england/image-711/</a> ).....	13
Fig. 11 - Ateliers de confecções Henri Esders, Paris (1919). Arquitecto Auguste Perret ( <a href="http://chahuts.com/albums/reconstruction/?item=16902">http://chahuts.com/albums/reconstruction/?item=16902</a> ).....	14
Fig. 12 - Palácio do Centenário em Breslau (1911-13). Cúpula 67m diâmetro. Arq. Max Berg e Eng. Dyckerhoff & Widmann ( <a href="http://www.explorations-architecturales.com/data/new/fiche_90.htm">http://www.explorations-architecturales.com/data/new/fiche_90.htm</a> ).....	14
Fig. 13 - "Ancient Roof with the framing" em <i>The true Principles and revival of Christian Architecture</i> por A. Welby Pugin 1841. Desenho representando a construção "monolítica" que vai ao encontro do princípio da autenticidade estrutural (Frampton, 1996).....	15
Fig. 14 - "Modern Roof with the framing concealed with plaster ceiling" em <i>The true Principles and revival of Christian Architecture</i> por A. Welby Pugin 1841. Desenho representando a construção "estratificada" escondendo a estrutura (Frampton, 1996).....	15
Fig. 15 - Evolução dos princípios construtivos em madeira segundo Rondelet. - <i>Traité théorique et pratique de l'art de bâtir: Tome quatrième</i> . Author, Jean Rondelet. Edition, 7. Publisher, Firmin-Didot frères, 1834 ( <a href="http://digitalgallery.nyu.org/">http://digitalgallery.nyu.org/</a> ).....	17
Fig. 16 - Evolução da construção em madeira, desde os porticados básicos (a), evoluindo para as paredes pesadas em toros (b-e), passando pelos porticados elaborados (f) e culminando nos reticulados pesados (restantes exemplos). Os reticulados pesados serão um marco importante na evolução da construção pelo aproveitamento das qualidades construtivas da madeira e pela especialização da sua função estrutural distinta da função de fechamento espacial (Benedetti & Bacigalupi, 1988).....	18
Fig. 17 - Desenvolvimento dos porticados desde os porticados básicos com estacas até aos reticulados pesados com escoras e ligações de mecha e respiga (Gerner, 2007).....	19
Fig. 18 - Comparação entre reticulados pesados básicos e reticulados elaborados (Gerner, 2007).....	19
Fig. 19 - Casa dos Iroqueses "Longhouse" (embora surgisse principalmente com a superfície de cobertura curva), recorrendo a reticulados leves básicos ( <a href="http://www.gutenberg.org/files/25556/25556-h/25556-h.htm">http://www.gutenberg.org/files/25556/25556-h/25556-h.htm</a> ).....	20
Fig. 20 - Construção militar (caserna, hospital de campanha) em reticulados leves. Note-se a semelhança com a "Longhouse". Lexikon der Gesamten Technik Editado por Otto Lueger, 1904 ( <a href="http://www.zeno.org/Lueger-1904/I/TL040565">http://www.zeno.org/Lueger-1904/I/TL040565</a> ).....	20
Fig. 21 - Reticulados leves básicos. Yurt Turco/ Ger Mongol ( <a href="http://quadralectics.files.wordpress.com/2013/10/531.jpg">http://quadralectics.files.wordpress.com/2013/10/531.jpg</a> ).....	21
Fig. 22 - Reticulados leves básicos. Tipi e Wigwam Norte Americanos (Walker, 2002).....	21
Fig. 23 - Reticulados pesados de montantes afastados (Clayton, 1990).....	22
Fig. 24 - Reticulados pesados de montantes próximos (Clayton, 1990).....	22
Fig. 25 - Reticulados de montantes próximos com cruz de Santo André, usual em França (Clayton, 1990).....	22
Fig. 26 - O encaixe com mecha e respiga torna-se comum a partir da segunda metade do século XVI na Alemanha (Gerner, 2007).....	23
Fig. 27 - Evolução dos encaixes de meia madeira para mecha e respiga na Alemanha (Gerner, 2007).....	23
Fig. 28 - Reticulados pesados tipo Fachwerk (Staib, Dörhöfer, & Rosenthal, 2008).....	24
Fig. 29 - Reticulados pesados tipo Fachwerk. Perspectiva da casa Panecke na região de Hamburgo (século XIX) (Moyan, 2009).....	24
Fig. 30 - Uniões longitudinais, uniões perpendiculares em L, uniões perpendiculares em T, exemplo de conjunto de elementos construtivos (Benedetti & Bacigalupi, 1988).....	25
Fig. 31 - Regiões e tipos de "fachwerk" na Alemanha: Saxónico, Francónio e Alemânico ( <a href="http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm">http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm</a> ).....	26
Fig. 32 - Reticulados leves elaborados - Desenho de apoio à construção de uma cabana segundo o sistema "balloon-frame" (Bell W., 1859).....	27
Fig. 33 - Esquema do "balloon-frame" - Audel's Carpenter's and Builder's Guide 1923 ( <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Balloon_frame.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Balloon_frame.jpg</a> ).....	27
Fig. 34 - Habitações nos Alpes com estacas.....	28
Fig. 35 - Habitações nos Alpes com fundações.....	28
Fig. 36 - Cortes, alçado e planta de porticado elaborado ogival (cruck frame) - Hungerford, Inglaterra (1449) ( <a href="http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town_Walks/town_walks.html">http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town_Walks/town_walks.html</a> ).....	29
Fig. 37 - Perspectiva de porticado elaborado ogival ( <a href="http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town_Walks/town_walks.html">http://www.hungerfordvirtualmuseum.co.uk/Town_Walks/town_walks.html</a> ).....	29
Fig. 38 - Sistema porticado das casas tipo "Cape Cod Cottages" com o fogão e a chaminé central (Foster, 2004).....	30
Fig. 39 - Sistema de revestimento com shingles sobre pranchas utilizado em algumas casas de Cape Cod e serragem de pranchas com recurso a um fosso (Foster, 2004).....	30
Fig. 40 - Estruturas de paredes básicas com toros nos Alpes. Idade do bronze (Suter & Schlichterle, 2009).....	31
Fig. 41 - Habitações rurais em Novgorod, séc XII ( <a href="http://slavyanskaya-kultura.ru/art/ruskoe-zodchestvo/tradicione-tipy-domov-na-rusi.html">http://slavyanskaya-kultura.ru/art/ruskoe-zodchestvo/tradicione-tipy-domov-na-rusi.html</a> ).....	31
Fig. 42 - Sistema militar da paliçada e sistema doméstico de toros verticais com viga de topo (Clayton, 1990).....	32
Fig. 43 - Sistema de paredes pesadas de toros verticais em Placentia, Newfoundland (1722) (Kalman, 1995).....	32
Fig. 44 - Formas de ligação nos cantos: meia cana, sobreposição simples, espiga, e cauda de andorinha (Clayton, 1990).....	33
Fig. 45 - Piso superior de uma casa em toros Alpina do século XVII (Alemanha) (Hansen, 1971).....	34
Fig. 46 - Ligações de canto e ombreira ( <a href="http://www.payer.de/tropenarchitektur/troparch046.htm">http://www.payer.de/tropenarchitektur/troparch046.htm</a> ).....	34
Fig. 47 - Casa Babiak no Sul de Manitoba - Canadá, construída por colonos Ucranianos. 1) Shingles de madeira; 2) Tabuado de revestimento base de 25mm de espessura; 3) Vigotas de travamento 75 a 100mm de diâmetro; 4) Vigas de cobertura 100	

a 125mm de diâmetro; 5) Vigas de tecto 125x150mm; 6) Isolamento 100mm de espessura; 7) Revestimento de tecto 50x100 a 150mm; 8) Perfis de apoio do isolamento 50mm; 9) Paredes 125 a 200mm de espessura; 10) Argamassa de argila no interior e no exterior; 11) Pavimento de terra sobre tabuado de 50mm de espessura (Ledohowski & Butterfield, 1983).....	35
Fig. 48 - Sistema "stackwall" ou "stovewood" (Clayton, 1990).....	36
Fig. 49 - Paredes pesadas tipo "Red River" ou "Poteaux en coulisse" (Kalman, 1995).....	36
Fig. 50 - Sistema de paredes leves - <i>Stave</i> (Sigurðardóttir, 2012).....	37
Fig. 51 - Sistema de paredes leves - <i>Bolverk</i> (Sigurðardóttir, 2012).....	37
Fig. 52 - Duas variantes de paredes leves de pranchas verticais e montantes no Vermont (USA) (Lewandoski, 1985).....	38
Fig. 53 - Construção de paredes leves de pranchas horizontais e montantes, no Canadá (Richie, 1979).....	38
Fig. 54 - Casa tradicional das Ilhas Faroé - Paredes leves com vigas de base e topo ligadas a pilares de canto com paredes exteriores de pedra e turfa (Schjelderup & Storsletten, 1999).....	39
Fig. 55 - Abrigo de nativos americanos em madeira, utilizando sistemas e materiais diversos: Porticados e paredes pesadas de toros verticais de madeira, vegetação da pradaria e terra como acabamento final (Homing, 2009).....	39
Fig. 56 - Justificação de sistemas construtivos baseada na disponibilidade de matéria-prima (Neufert & Neufert, 2002).....	40
Fig. 57 - Distribuição mundial das florestas de coníferas (mais escuro) e de folhosas (mais claro) ( <a href="http://www.fao.org/docrep/x5353e/x5353e00.gif">http://www.fao.org/docrep/x5353e/x5353e00.gif</a> ).....	40
Fig. 58 - Casa de índios Hesquiat da Costa Oeste do Canadá em Nootka Sound (Clayton, 1990).....	41
Fig. 59 - Casa de índios Hesquiat da Costa Oeste do Canadá com vigas de 1,2m de diâmetro (Clayton, 1990).....	41
Fig. 60 - Evolução do sistema porticado reforçado (séc. XVII-XVIII) para o <i>balloon-frame</i> (Savage & Lee, 1984).....	42
Fig. 61 - Exemplo de aplicação do sistema <i>balloon-frame</i> numa casa de 1840 (Walker, 2002).....	42
Fig. 62 - Tipos de construção medievais Anglo-Saxónicas, incluindo o "cruck frame" (n.º 3 e n.º 4) (Forman, 1967).....	43
Fig. 63 - Reticulado pesado do Sudeste de Inglaterra (Oliver, 1987).....	43
Fig. 64 - Zonas climáticas do mundo (Olgay, 2002).....	44
Fig. 65 - Formas das coberturas indígenas (Olgay, 2002).....	44
Fig. 66 - Habitação Toba Batak (Oliver, 1987).....	45
Fig. 67 - Esquema sem empena de casa grande dos Iban (Oliver, 1987).....	45
Fig. 68 - Edifício típico colonial de Nova Inglaterra - <i>Salt box type</i> (Steane, 2004).....	46
Fig. 69 - Edifício típico de reticulado de madeira em Inglaterra (século XVI) (Steane, 2004).....	46
Fig. 70 - Parede tipo " <i>bousillage</i> " ( <a href="http://www.crt.state.la.us/hp/laheritage/CreoleHeritage/color/Creole17.gif">http://www.crt.state.la.us/hp/laheritage/CreoleHeritage/color/Creole17.gif</a> ).....	47
Fig. 71 - Casa Francesa colonial do vale do Mississipi ( <a href="http://christinefranck.wordpress.com/2011/01/19/houses-of-the-french-colonial-tradition/">http://christinefranck.wordpress.com/2011/01/19/houses-of-the-french-colonial-tradition/</a> ).....	47
Fig. 72 - Casa Japonesa (Kawashima, 2000).....	48
Fig. 73 - Casa Japonesa (Kawashima, 2000).....	48
Fig. 74 - Abrigo de Inverno ("pit-house") do "Plateau Indian" no Canadá (Clayton, 1990).....	49
Fig. 75 - Estrutura de reticulados leves de Verão do "Plateau Indian" no Canadá (Clayton, 1990).....	49
Fig. 76 - Os pólos de difusão das diferentes culturas na América do Norte (Walker, 2002).....	52
Fig. 77 - The log Cabin Mith de Harold Shurtleff (Shurtleff, 1967).....	54
Fig. 78 - Mowry house, Providence, Rhode Island, 1653 (Shurtleff, 1967).....	54
Fig. 79 - Explicação funcional da evolução da construção em madeira, baseada no aumento de pisos (Allen & Iano, 2008).....	56
Fig. 80 - Evolução das fundações. Das estacas directas à viga de soleiras sobre apoios de pedra (Benson, 1977).....	58
Fig. 81 - "Plain timber cottage villa" A. J. Downing The Architecture of Country houses, 1850 (Kalman, 1994).....	59
Fig. 82 - Greensted Church em Essex com estrutura de madeira - Cerca de 1013 ( <a href="http://www.photosofchurches.com/images/England/Essex.%20Ongar.%20Greensted%20Church.jpg">http://www.photosofchurches.com/images/England/Essex.%20Ongar.%20Greensted%20Church.jpg</a> ).....	59
Fig. 83 - Obras de carpintaria das lendas de Matsuzaki Tenjin Shrine (Hozumi, 1985).....	60
Fig. 84 - Serração Hidráulica na Virgínia 1650 (Shurtleff, 1967).....	61
Fig. 85 - Fabrico de varões convertíveis em pregos. Enciclopédia de Diderot (Rempel, 1972).....	61
Fig. 86 - Serradores japoneses. "Concurso de poemas de 32 rounds" (Hozumi, 1985).....	61
Fig. 87 - Parelha de serradores (Lyon, 2006).....	62
Fig. 88 - Serração mecanizada hidráulica com cinco serras (Lyon, 2006).....	62
Fig. 89 - Esquema de serração mecanizada Hélica com 12 serras (Lyon, 2006).....	62
Fig. 90 - Tipos de ligação nos cantos do sistema de paredes pesadas com toros (Phleps, 1982).....	63
Fig. 91 - Transporte de toros em trenós. Rio Ottawa, 1871 (Lower, 1973).....	64
Fig. 92 - Transporte de madeira no rio Ottawa, 1859 (Lower, 1973).....	64
Fig. 93 - Desenvolvimentos da tecnologia da madeira (timber engineering) e uso da madeira entre o século XVIII e actualidade segundo Joseph Kolb (Kolb, Systems in timber engineering, 2009).....	65
Fig. 94 - Casa construída em alvenaria em Cap Santé, Canadá, início do séc. XVIII (Moogk, 1977).....	66
Fig. 95 - Casa construída no sistema " <i>pièces-sur-pièces</i> " em Oka, Canadá, séc. XIX (Moogk, 1977).....	66
Fig. 96 - Formas arquitectónicas da Europa do Norte e da América do Norte (Mitchel, 1997, pp. 2-3). A - Igreja de toros na Rússia (1400 DC); B - Reticulados pesados elaborados na Europa Ocidental (1500 DC); C - Igreja Stave na Noruega (1000 DC) com porticados e pranchas entre os postes; D - Edifício rural <i>stav og laft</i> da Noruega e Suécia (1400 DC) combinando porticados e paredes pesadas; E - Igreja na Rússia ocidental; F - Paredes pesadas e postes verticais em Biskupin, Polónia (700 AC); G - Japão; H - <i>Pièce sur pièce</i> ; I - <i>Red river frame</i> ; J - Forte da Hudson Bay Company; K - Casa de paredes pesadas; L - Casa Porticada na Nova Inglaterra; M - Casa de toros redondos EUA; N - Porticado espanhol " <i>mission style</i> " (1800 DC); O - Porticado " <i>Craftsman style</i> " (1900 DC); P - " <i>Long house Haida</i> " (Mitchel, 1997).....	67
Fig. 97 - As tradições da construção em madeira na Europa (Phleps, 1982).....	68
Fig. 98 - Família em frente de casa tipo Cape Cod em Levittown, 1948 ( <a href="http://tiger.uic.edu/~pbhales/Levittown.html">http://tiger.uic.edu/~pbhales/Levittown.html</a> ).....	70
Fig. 99 - Kit de partes em Levittown, 1948 ( <a href="http://tiger.uic.edu/~pbhales/Levittown.html">http://tiger.uic.edu/~pbhales/Levittown.html</a> ).....	70
Fig. 100 - Sears - Modelo "The Gordon", n.º 3356 (Sears Brands, 2015).....	71
Fig. 101 - Aladin "Board of seven" (Central Michigan University, 2015).....	71
Fig. 102 - Serviços de Arquitectura da empresa Hewitt-Lea-Funck - Bungalow magazine, May 1914 (Gowans, 1987).....	71
Fig. 103 - Formulário para uma casa fornecida por comboio - Liberty Homes 1915 (Gowans, 1987).....	72
Fig. 104 - Catálogo Aladdin na 3ª Edição de 1914, anunciando a caixa de ar do sistema <i>balloon frame</i> como o "melhor isolamento" (Gowans, 1987).....	72



Fig. 105 - Casa de campo Khuner, Kreuzberg, Austria. Adolf loos, 1930 (Samitz, 2003).	74
Fig. 106 - "Casa de uma só parede". Adolf Loos, 1921 (Gravagnuolo, 1988).	74
Fig. 107 - George Madison Milard House, Geneva III, 1906 (Heinz, 2000).	75
Fig. 108 - E. H. Pitkin House, Sapper Island Ontario, Canadá, 1900 (Heinz, 2000).	75
Fig. 109 - Casa Gropius, Lincoln, Massachusetts.	76
Fig. 110 - Casa Gropius, Lincoln, Massachusetts. Walter Gropius, 1938 (Ford, 1997).	76
Fig. 111 - Cabana para trabalhadores da fábrica Varkaus. Alvar Aalto, 1939 (Schildt, 1986).	77
Fig. 112 - Projecto de casa de Verão, ilha Gloskär. Alvar Aalto, 1936 (Schildt, 1986).	77
Fig. 113 - John Ford e Breuer Houses - Marcel Breuer e Walter Gropius (Ford, 1997).	78
Fig. 114 - Moore House, Reichar Neutra (Ford, 1997).	78
Fig. 115 - Incêndio em Amsterdão. Jan van der Heyden Dutch, 1637-1712 ( <a href="https://streetsofsalem.files.wordpress.com/2014/06/van-der-heyden-3-1690-sectional-view-met.jpg">https://streetsofsalem.files.wordpress.com/2014/06/van-der-heyden-3-1690-sectional-view-met.jpg</a> ).	80
Fig. 116 - O grande incêndio de Londres - 1666 (Pennsbury Manor, 2015).	80
Fig. 117 - Casa Gugulun em 1927. Construída em toros em 1706 em Versam, Suíça (Yoshida, 1998).	82
Fig. 118 - Ampliação da casa Gugulun por Peter Zumthor (1990-1994) (Yoshida, 1998).	82
Fig. 119 - Abrigos fixos de materiais vegetais a) Canas com palhas de fava b) Esqueleto de abrigo c) Canas dispostas em duas águas (Veiga de Oliveira, Galhano, & Pereira, Construções primitivas em Portugal, 1994).	88
120 - Casas de resalto em Lisboa (Fotos autor).	89
121 - Casas de resalto no Porto (Fotos autor).	89
Fig. 122 - Parede de casa em Chaves (Foto autor).	90
Fig. 123 - Parede de casa em Bragança (Foto autor).	90
Fig. 124 - Fasquiados e vigas de pavimento visíveis nas fachadas de edifícios de resalto em Chaves (Fotos autor).	91
Fig. 125 - Fachada de edifício no Porto (Foto autor).	92
Fig. 126 - Fachada de casa em Manteigas (Foto autor).	92
Fig. 127 - Palheiro de banhistas em Esmoriz (Foto autor).	93
Fig. 128 - Palheiro de banhistas em Esmoriz (Foto autor).	93
Fig. 129 - Palheiro de Mira, actualmente com uso de bar (Foto autor).	94
Fig. 130 - Palheiro de mira num logradouro revestido com tábuas costaneiras na horizontal (Foto autor).	94
Fig. 131 - Palheiro Residencial em Mira (Foto autor).	94
Fig. 132 - Palheiros da Tocha com o piso inferior em alvenaria e o revestimento em tabuado vertical (Foto autor).	95
Fig. 133 - Palheiro da tocha com varanda (Foto autor).	95
Fig. 134 - Habitações de dois pisos na Costa Nova pertencentes a um mesmo sistema construtivo e formal (Fotos autor).	96
Fig. 135 - Tipos estruturais: tipo de Mira; tipo da Vieira e tipo de Esmoriz (Veiga de Oliveira & Galhano, 1964).	97
Fig. 136 - Cabanas na Praia da Saúde, Costa da Caparica (Fotos autor).	98
Fig. 137 - Cabanas na Carrasqueira com as tábuas costaneiras horizontais para fixação do caniço (Fotos autor).	99
Fig. 138 - Cabanas no Patacão de Cima, Alpiarça, com uma estrutura híbrida entre o porticado e o reticulado (Fotos autor).	100
Fig. 139 - "Casa de Fio", Madeira (Mestre, 2002).	101
Fig. 140 - "Casa Redonda", Madeira (Mestre, 2002).	101
Fig. 141 - Habitações na Palhota com revestimento em painéis de contraplacado (Fotos autor).	102
Fig. 142 - Habitação na Palhota com tabuado vertical (Foto autor).	102
Fig. 143 - Casas na Cova do Vapor com diversos tipos de revestimento (Fotos autor).	103
Fig. 144 - Casa no Pego, Sintra, 2007 - Álvaro Siza ( <a href="http://ultimasreportagens.com">http://ultimasreportagens.com</a> ).	107
Fig. 145 - Casa Adropeixe, Terras do Bouro, Gerês, 2008 - Carlos Castanheira & Clara Bastai ( <a href="http://ultimasreportagens.com">http://ultimasreportagens.com</a> ).	107
Fig. 146 - Casa na Caniçada, Gerês, 2001 - Arquipoito ( <a href="http://www.arquipoito.pt/">http://www.arquipoito.pt/</a> ).	107
Fig. 147 - Casa na Areia, Comporta, 2010 - Aires Mateus ( <a href="http://www.archdaily.com/119742/casa-na-areia-aires-mateus">http://www.archdaily.com/119742/casa-na-areia-aires-mateus</a> ).	107
Fig. 148 - Wood Houses, Soyo, Angola - Hemisfério Sul ( <a href="http://noticias.sapo.pt/info/artigo/1176366">http://noticias.sapo.pt/info/artigo/1176366</a> ).	108
Fig. 149 - Zmar Eco Camp Resort & Spa ( <a href="http://www.cocoonlodges.com/#/comporta-reservas/c23cz">http://www.cocoonlodges.com/#/comporta-reservas/c23cz</a> ).	108
Fig. 150 - Cocoon Eco design lodges - Arquipoito ( <a href="http://www.cocoonlodges.com/#/comporta-reservas/c23cz">http://www.cocoonlodges.com/#/comporta-reservas/c23cz</a> ).	108
Fig. 151 - Areias de Mira, Praia de Mira, CASEMA ( <a href="http://www.casema.pt/obras/areias-de-mira">http://www.casema.pt/obras/areias-de-mira</a> ).	108
Fig. 152 - Chalés de Montanha, Serra Estrela - Turistrela ( <a href="http://www.turistrela.pt/?cix=588">http://www.turistrela.pt/?cix=588</a> ).	108
Fig. 153 - Encosta do Paraíso, Guimarães ( <a href="http://www.clubeparaiso.pt/portugues/encosta.php">http://www.clubeparaiso.pt/portugues/encosta.php</a> ).	108
Fig. 154 - Casa Penha-Flor - Lacedal, P.A.R. - Plataforma de Arquitectura ( <a href="http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/personalizada/casa_penha_flor/">http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/personalizada/casa_penha_flor/</a> ).	108
Fig. 155 - CED eco design house, Lacedal ( <a href="http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/em_serie/casa_eco_design/">http://www.lacedal.pt/pages/Arquitectura/em_serie/casa_eco_design/</a> ).	108
Fig. 156 - Tree House Riga e Tree House no Cabo da Roca, 2010 - Appleton & Domingos ( <a href="http://www.appletondomingos.pt/treehouse.html">http://www.appletondomingos.pt/treehouse.html</a> ).	108
Fig. 157 - ttt torre turística transportável e Et3 panel, José Pequeno e DST ( <a href="http://www.ttttower.com/Default.aspx">http://www.ttttower.com/Default.aspx</a> ).	108
Fig. 158 - Mima house, Viana do Castelo, 2011 - MIMA Architects ( <a href="http://www.archdaily.com/192043/mima-house-mima-architects">http://www.archdaily.com/192043/mima-house-mima-architects</a> ).	108
Fig. 159 - Pedras Salgadas Eco-Resort, 2012 - Luís Rebelo de Andrade & Diogo Aguiar ( <a href="http://www.archdaily.com/307297/pedras-salgadas-eco-resort-luis-rebelo-de-andrade-diogo-aguiar">http://www.archdaily.com/307297/pedras-salgadas-eco-resort-luis-rebelo-de-andrade-diogo-aguiar</a> ).	108
Fig. 160 - Pestana Tróia Eco-Resort, 2012 - Arquipoito ( <a href="http://acidadenapontadosdedos.com/2012/10/04/pestana-troia-eco-resort-o-ultimo-mergulho/">http://acidadenapontadosdedos.com/2012/10/04/pestana-troia-eco-resort-o-ultimo-mergulho/</a> ).	108
Fig. 161 - Casa Adropeixe, Terras do Bouro, Gerês, 2008 - Carlos Castanheira & Clara Bastai ( <a href="http://www.archdaily.com/18822/casa-adropeixe-carlos-castanheira-clara-bastai">http://www.archdaily.com/18822/casa-adropeixe-carlos-castanheira-clara-bastai</a> ).	109
Fig. 162 - ENF - Mapa de macrozonagem de funções dominantes do espaço florestal à esquerda (Sistemas multifuncionais a creme e verde claro e produção lenhosa a verde escuro) e mapa de ocupação do solo, à direita (Pinheiro bravo a verde escuro, Eucalipto a verde claro e Sobreiro a Castanho) (DGRF, 2006).	113
Fig. 163 - Distribuição e áreas totais por espécies/grupos de espécies (Uva, 2013).	114
Fig. 164 - Mapa Mundial do clima Segundo a classificação Köpen-Geiger ( <a href="http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/kottek_et_al_2006_A4.pdf">http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/kottek_et_al_2006_A4.pdf</a> ).	128
Fig. 165 - Zonas climáticas de Portugal continental. Zonas climáticas de Inverno e zonas climáticas de Verão no continente (Despacho n.º 15793-F/2013 - Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013) (Portugal, 2013).	129
Fig. 166 - Tree House T1A, Jular, Azambuja (Foto autor).	131
Fig. 167 - Casa para exportação. Jular, Azambuja (Foto autor).	131

Fig. 168 - Casa modelo porticada - Rusticasa (Foto autor).....	132
Fig. 169 - Painéis reticulados - Rusticasa (Foto autor).....	132
Fig. 170 - Casa modelo - Modular System (Foto autor).....	133
Fig. 171 - Tree House Riga da empresa Jular em Santos, Lisboa (Foto autor).....	133
Fig. 172 - Sede da empresa Casema (Foto autor).....	134
Fig. 173 - Pormenor de encontro de um pilar com uma viga (Foto autor).....	134
Fig. 174 - Construção de uma casa com blocos de madeira pela empresa Empatias (Foto autor).....	135
Fig. 175 - Casa em toros de madeira pela empresa Empatias (Foto autor).....	135
Fig. 176 - Número de respostas das empresas por factor que incentiva o comprador a optar por uma casa de madeira (Morgado & Pedro, 2011).....	137
Fig. 177 - Número de respostas das empresas por principais dúvidas ou preconceitos dos clientes em relação à construção em madeira (Morgado & Pedro, 2011).....	138
Fig. 178 - Número de respostas das empresas por número de casas de madeira construídas em Portugal desde o início da actividade da empresa (Morgado & Pedro, 2011).....	139
Fig. 179 - Número de respostas das empresas por tempo médio de construção de uma casa de madeira desde o início dos trabalhos até à sua conclusão (Morgado & Pedro, 2011).....	140
Fig. 180 - Número de respostas das empresas por obstáculos à evolução futura do mercado de construção de casas de madeira (Morgado & Pedro, 2011).....	142
Fig. 181 - Número de respostas das empresas por opinião sobre o papel dos Arquitectos portugueses no projecto e construção de casas de madeira (Morgado & Pedro, 2011).....	143
Fig. 182 - Principais tipos estruturais (paredes de toros, painéis reticulados, porticado e painéis maciços) (Lignum ®) ( <a href="http://www.lignum.ch/uploads/media/Holzbau_Argumente.pdf">http://www.lignum.ch/uploads/media/Holzbau_Argumente.pdf</a> ).....	153
Fig. 183 - Reticulados leves "balloon frame" (Deplazes, 2005a) (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008) (Watson, Crosbie, & Callender, 1999).....	160
Fig. 184 - Reticulados leves "braced frame" e "modern braced frame". Note-se as secções do pilar de canto, da travessa de pavimento e da travessa de topo no primeiro sistema e a uniformidade de secções no segundo (Jones, 1986).....	161
Fig. 185 - Reticulados leves "platform frame". Cobertura plana, cobertura inclinada, pormenores do piso intermédio, pormenores do pavimento térreo sobre paredes de betão (Schierle, 2006) (Deplazes, 2005a).....	162
Fig. 186 - Reticulados leves "Advanced Framing" ou "Optimum Value Engineering" ( <a href="http://www.energyvanguard.com/blog-building-science-HERS-BPI/bid/59284/Guest-Post-The-Fatal-Flaw-in-Advanced-Framing-Part-1">http://www.energyvanguard.com/blog-building-science-HERS-BPI/bid/59284/Guest-Post-The-Fatal-Flaw-in-Advanced-Framing-Part-1</a> ).....	164
Fig. 187 - Porticados de pilar viga com quatro variações: Pilares e vigas secundárias duplicadas, Vigas contra pilar, Viga sobre pilar, Pilar contínuo e vigas primárias e secundárias duplicadas (Steiger, 2007).....	165
Fig. 188 - Vários tipos de porticados: de pórticos paralelos, tradicionais "timber frame", de estacas "pole construction", de postes verticais "post frame" e tipo "plank and beam" (Steiger, 2007) (Peraza Sánchez, et al., 1995) (Wolfe, 2008) ( <a href="http://www.bamttoolbox.com/images/Post-Frame-Ir.jpg">http://www.bamttoolbox.com/images/Post-Frame-Ir.jpg</a> ) (Merrit & Ricketts, 2000).....	168
Fig. 189 - Reticulados pesados tradicionais (Deplazes, 2005a) (Steiger, 2007) (Gemmer, 2007).....	170
Fig. 190 - Tipos de paredes leves de pranchas e montantes (Mascarenhas, 2006) e paredes leves de blocos (Steko®) ( <a href="http://www.steko.ch/fileadmin/ablage/dokumente/steko_systembeschreibung-francais.pdf">http://www.steko.ch/fileadmin/ablage/dokumente/steko_systembeschreibung-francais.pdf</a> ).....	172
Fig. 191 - Tipos de paredes leves de pranchas e montantes (Manual Casema) (Casema, 2006).....	174
Fig. 192 - Painéis leves: reticulados; leves alveolares compactos (Lignoswiss®); painéis leves alveolares tipo caixa (Lignotrend ®); painéis leves tipo sanduiche (SIPs) (Deplazes, 2005a) ( <a href="http://www.holzhaus-schmidlin.ch/content.php?l=1&amp;m=19">http://www.holzhaus-schmidlin.ch/content.php?l=1&amp;m=19</a> ) ( <a href="http://www.ageka.fr/pdf/lignatur.pdf">http://www.ageka.fr/pdf/lignatur.pdf</a> ) ( <a href="https://renaissanceronin.wordpress.com/2009/02/">https://renaissanceronin.wordpress.com/2009/02/</a> ).....	176
Fig. 193 - Paredes pesadas de toros (Mascarenhas, 2006) ( <a href="http://outlands.tripod.com/farm/logcabin.htm">http://outlands.tripod.com/farm/logcabin.htm</a> ).....	181
Fig. 194 - Painéis pesados de lamelados cruzados colados, Painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados, Painéis pesados de lamelados paralelos, Painéis de feixes paralelos e exemplo de sistema Bresta ® (lamelados paralelos) ( <a href="http://www.klhuk.com/downloads.aspx?p=7">http://www.klhuk.com/downloads.aspx?p=7</a> ) ( <a href="http://www.holz100norge.com/">http://www.holz100norge.com/</a> ) ( <a href="http://www.holz-suttner.de/daten/images/pdf/duebelholzwand_datenblatt.pdf">http://www.holz-suttner.de/daten/images/pdf/duebelholzwand_datenblatt.pdf</a> ) ( <a href="http://www.atg-bau-energie.com/wp-content/uploads/2011/01/palisadio.pdf">http://www.atg-bau-energie.com/wp-content/uploads/2011/01/palisadio.pdf</a> ) ( <a href="http://www.tschopp-holzbau.ch/w_1/site/s_page_bresta.asp?NID=144&amp;hilite=technischer%20beschrieb">http://www.tschopp-holzbau.ch/w_1/site/s_page_bresta.asp?NID=144&amp;hilite=technischer%20beschrieb</a> ).....	184
Fig. 195 - Construção modular com painéis CLT (Weber Thompson®) ( <a href="http://weberthompson.com/blog/?p=540">http://weberthompson.com/blog/?p=540</a> ).....	186
Fig. 196 - Construção com módulos parciais de casa de banho e de escada ( <a href="http://www.meta-box.de/flash6.htm">http://www.meta-box.de/flash6.htm</a> ).....	188
Fig. 197 - Peak house - Honka ( <a href="http://www.honka.com/en/residential-houses">http://www.honka.com/en/residential-houses</a> ).....	205
Fig. 198 - Exterior e interior - Massachusetts timber frame home - Design Jim Driesch. Galeria de uma casa Svenskhomes ( <a href="http://www.timberhomeliving.com/nature-first/">http://www.timberhomeliving.com/nature-first/</a> ) ( <a href="http://www.svenskhomes.co.uk/gallery">http://www.svenskhomes.co.uk/gallery</a> ).....	205
Fig. 199 - Teton Springs Pond - Precision Craft Log & Timber homes ( <a href="http://www.precisioncraft.com/photo-gallery/handcrafted-log-homes/teton-springs-log-home/tetonsprings-pond1/">http://www.precisioncraft.com/photo-gallery/handcrafted-log-homes/teton-springs-log-home/tetonsprings-pond1/</a> ).....	205
Fig. 200 - Laburnum - Stommel Haus ( <a href="http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/standard_houses/laburnum">http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/standard_houses/laburnum</a> ).....	205
Fig. 201 - Chalet in Les Diablerets / Charles Pictet Architecte ( <a href="http://www.archdaily.com/324646/chalet-in-les-diablerets-charles-pictet-architecte/">http://www.archdaily.com/324646/chalet-in-les-diablerets-charles-pictet-architecte/</a> ).....	206
Fig. 202 - Haus BRU 1.25 / SoHo Architektur ( <a href="http://www.archdaily.com/277291/haus-bru-1-25-soho-architektur/">http://www.archdaily.com/277291/haus-bru-1-25-soho-architektur/</a> ).....	206
Fig. 203 - Plentzia 79 Bizkaia - AV62 Arquitectos ( <a href="http://www.av62Arquitectos.com/en/projects/plentzia-79-bizkaia-3-165-fotos">http://www.av62Arquitectos.com/en/projects/plentzia-79-bizkaia-3-165-fotos</a> ).....	206
Fig. 204 - La Grange de Mon Père / MJ Architectes ( <a href="http://www.archdaily.com/292657/la-grange-de-mon-pere-mj-architectes/">http://www.archdaily.com/292657/la-grange-de-mon-pere-mj-architectes/</a> ).....	206
Fig. 205 - Casa 205 - H Architectes ( <a href="http://europaconcorsi.com/projects/83474-Casa-205">http://europaconcorsi.com/projects/83474-Casa-205</a> ).....	207
Fig. 206 - House in Mejirodai / Mejiro Studio + Kozo Kadowaki ( <a href="http://www.archdaily.com/291966/house-in-mejirodai-mejiro-studio-kozo-kadowaki/">http://www.archdaily.com/291966/house-in-mejirodai-mejiro-studio-kozo-kadowaki/</a> ).....	207
Fig. 207 - São Francisco Xavier - Nitsche ( <a href="http://www.nitsche.com.br/projetos.asp?id_projeto=57&amp;ant=57&amp;si=920383666">http://www.nitsche.com.br/projetos.asp?id_projeto=57&amp;ant=57&amp;si=920383666</a> ).....	207
Fig. 208 - Huf House Lugano ( <a href="http://www.huf-haus.com/en/italy/lugano/downloadsection-art-f.html">http://www.huf-haus.com/en/italy/lugano/downloadsection-art-f.html</a> ).....	207
Fig. 209 - Tipo Orgânico - Dragspelhuset - 24H Architecture ( <a href="http://www.archello.com/en/project/dragspelhuset">http://www.archello.com/en/project/dragspelhuset</a> ).....	208
Fig. 210 - Tipo Expressionista - Cube House - Plasma Studio ( <a href="http://www.archdaily.com/412621/cube-house-plasma-studio">http://www.archdaily.com/412621/cube-house-plasma-studio</a> ).....	208
Fig. 211 - Tipo Racional - Domespace Harmonique 8,71 e Harmonique 7,20 ( <a href="http://www.domespace.com/fr/photos">http://www.domespace.com/fr/photos</a> ).....	208
Fig. 212 - Axonometria e nomenclatura do sistema de reticulados leves (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).....	211
Fig. 213 - Axonometria do sistema <i>platform framing</i> (American Institute of Architects, 2008).....	213
Fig. 214 - Métodos de construção: painéis parciais pré-fabricados, reticulados montados em obra, e painéis de grande dimensão pré-fabricados (TRADA, 2008).....	214

Fig. 215 - Grelha estrutural e compatibilidade dimensional entre componentes (TRADA, 2008) (Bignon & Critt-Crai, 2003).....	215
Fig. 216 - Tipos principais de fundações: pavimento térreo sobre o terreno, pavimento térreo sobre espaço de serviço, e pavimento térreo sobre cave (Thalon, 2009).....	216
Fig. 217 - Fundações: com blocos de cimento, com blocos isolados, com estrutura de madeira (CMHC, 2013a).....	218
Fig. 218 - Estrutura de pavimento característica (Thalon, 2009) e reforço para abertura de vão no pavimento (CMHC, 2013a).....	220
Fig. 219 - Ligações da estrutura de pavimento às fundações: método mais comum ("da travessa de soleira") e método alternativo ("vigota de pavimento embebida") com ressalto para cotas de pavimento mais baixas (CMHC, 2013a).....	222
Fig. 220 - Vãos indicativos em função da secção das vigotas de pavimento (Ching, 2008).....	223
Fig. 221 - Exemplo de pregagem e colagem de placas OSB sobre vigas I Joist (Weyerhaeuser, 2015). Uso de placas com ou sem encaixe macho-fêmea (European Panel Federation, 2015).....	225
Fig. 222 - Projecções de pavimentos (CMHC, 2013a, p. 104) (Thalon, 2009).....	226
Fig. 223 - Encontro do pavimento com a parede exterior nos sistemas "platform frame" e "balloon frame" (Thalon, 2009).....	227
Fig. 224 - Paredes e componentes no sistema "platform frame" (CMHC, 2013a, p. 104) (Thalon, 2009).....	228
Fig. 225 - Balloon frame (CMHC, 2013a, p. 104) e cortes no encontro entre parede exterior e o pavimento comparando os sistemas balloon frame e platform frame (Thalon, 2009).....	229
Fig. 226 - Tipos de acabamentos exteriores com perfis horizontais (TRADA, 2008) e exemplo de encontro de fachadas com caixa de ar (Thalon, 2009).....	233
Fig. 227 - Acabamentos exteriores com alvenaria de tijolo (TRADA, 2008), sistema EIFS (CMHC, 2013a) (External Insulation Finish System) e shingles (Thalon, 2009).....	236
Fig. 228 - Coberturas de duas águas, quatro águas e cobertura plana (CMHC, 2013a).....	238
Fig. 229 - Cobertura com componentes fabricados em obra e caso especial de cobertura com viga travessa (CMHC, 2013a).....	239
Fig. 230 - Projecções da cobertura na empena (Thalon, 2009).....	240
Fig. 231 - Folga de 12,5mm entre o aro da estrutura e o aro da janela (TRADA, 2008) e pormenores do lintel de um vão (Thalon, 2009).....	244
Fig. 232 - Varandas com "deck" (TRADA, 2008) e detalhes da ligação com a fachada (Thalon, 2009).....	245
Fig. 233 - Passagem de infraestruturas e vigotas de pavimento (CMHC, 2013a).....	249
Fig. 234 - Diversos tipos de remates: entre cobertura e murete, na base da fachada, num capeamento e na intersecção de uma chaminé com a cobertura (CMHC, 2013a).....	250
Fig. 235 - Exemplo de peça desenhada fornecida num processo da empresa Nauta Home designs (Nauta Home Designs, 2015).....	263
Fig. 236 - Projectos do site "Houseplans" da colecção "Signature", elaborados na maioria por Arquitectos e com construção em reticulados leves (Houseplans, 2015).....	266
Fig. 237 - Sistema porticado aplicado numa moradia de dois pisos e cobertura inclinada (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).....	267
Fig. 238 - Estrutura porticada de uma habitação unifamiliar, com vigas contínuas e pilares interrompidos (Mitchel, 1997).....	269
Fig. 239 - Sistema porticado do tipo "timber-frame" e respectivas ligações de encaixe (American Institute of Architects, 2008).....	271
Fig. 240 - Grelha do tipo "Tartan" no método Segal (Borer & Harris, 2001).....	272
Fig. 241 - Grelha do tipo Centreline no método Segal (Borer & Harris, 2001).....	272
Fig. 242 - Alternativas de ligação dos pilares com as vigas (Kolb, 2008).....	274
Fig. 243 - Sistemas de porticados "Heavy Timber Construction": "post & beam", "post & beam" combinado com o sistema de reticulados leves (Canadian Wood Council, 1997) e "post & beam" com revestimentos estruturais (Canadian Wood Council, 2015).....	276
Fig. 244 - Tipos de ligações entre pilares, vigas, lajes e paredes (Canadian Wood Council, 1997).....	278
Fig. 245 - Montagem de uma habitação "Timber-frame" (Riverbend Timber Framing, 2015).....	280
Fig. 246 - Axonometria explodida do sistema "Timber-frame" (Normerica, 2015).....	280
Fig. 247 - Estrutura de porticado "Green-Oak", juntas típicas e efeitos do assentamento da madeira (Roos, Metten, & Holloway, 2007).....	281
Fig. 248 - "Heavy Timber construction": Ancoragem dos pilares na laje de pavimento, ligações pilar-viga e ancoragem da estrutura do pavimento em paredes de alvenaria (AWC, 2003).....	282
Fig. 249 - Uma habitação auto-construída Segundo o método Segal em Brighton ( <a href="http://www.selfbuild-central.co.uk/construction/main-structure/post-and-beam/">http://www.selfbuild-central.co.uk/construction/main-structure/post-and-beam/</a> ).....	283
Fig. 250 - Casa temporária de Walter Segal em Highgate, Londres ( <a href="https://hotcharchipotch.wordpress.com/2013/03/31/readapt-the-habitat/">https://hotcharchipotch.wordpress.com/2013/03/31/readapt-the-habitat/</a> ).....	283
Fig. 251 - Laje sobre o terreno, típica da solução "timber frame" (Benson, 1977).....	284
Fig. 252 - Solução para melhoria do comportamento acústico do pavimento e solução de encaixe de vigas secundárias nas vigas principais. (San Juan Timber Frames, 2015).....	285
Fig. 253 - Contraventamento só nos painéis verticais e contraventamento nos painéis verticais e horizontais (Bignon & Critt-Crai, 2003).....	286
Fig. 254 - Formas de solução de integração da envolvente construída na estrutura porticada (Kolb, 2008) . Sistema de isolamento pelo exterior, sistema de isolamento entre a estrutura, sistema de isolamento pelo exterior e sistema híbrido.....	287
Fig. 255 - Sistemas de cobertura, segundo Kolb (2008): vigotas ligeiras, caibros sobre vigas longitudinais, asnas e vigas sobre pórticos.....	289
Fig. 256 - Asnas de ático com a largura útil habitável (Trussed Rafter Association, 2015).....	290
Fig. 257 - Produtos de madeira utilizados nas vigas: viga maciça, viga de LVL, viga de PSL, viga Glulam, viga composta pregada, viga composta aparafusada e viga composta tipo "caixa" (American Institute of Architects, 2008).....	291
Fig. 258 - Tipos de revestimento com o sistema de porticados: 1) painéis de reticulados leves entre a estrutura; 2) pelo exterior da estrutura e 3) painéis SIP pelo exterior da estrutura com um vão (Benson, 1977).....	294
Fig. 259 - Ligação entre painéis SIP e ligação do pavimento à parede exterior (INSULPAN, 2015).....	295
Fig. 260 - Ligação dos painéis nos cantos e num vão de janela (INSULPAN, 2015).....	296
Fig. 261 - Ligações entre pavimento elevado e parede exterior (INSULPAN, 2015).....	297
Fig. 262 - Detalhes - Corte (pavimento parede exterior) e planta (canto de paredes exteriores) (San Juan Timber Frames, 2015).....	298
Fig. 263 - Concepção inicial da Estrutura de madeira (TRADA; IStructE, 2007).....	299
Fig. 264 - O processo de projecto, fabrico e construção da empresa San Juan Timber Frames (San Juan Timber Frames, 2015a).....	304
Fig. 265 - Suncadia Timber Frame Home da empresa Precision Craft (PrecisionCraft, 2015).....	305
Fig. 266 - Arizona timber frame home da empresa Precision Creaff (PrecisionCraft, 2015).....	305

Fig. 267 - Modern Timber frame Home in Montana (PrecisionCraft, 2015).....	305
Fig. 268 - Timber frame house da empresa SanJuan Timberwrights do Colorado (San Juan Timberwrights, 2015).....	305
Fig. 269 - Sistema de paredes de toros aplicado numa moradia de dois pisos e cobertura inclinada (Desenho do autor -exemplo do caso de estudo).....	306
Fig. 270 - Esquema comercial de uma casa de toros de madeira com a indicação dos factores que condicionam o aspecto e o preço (Honka, 2015).....	307
Fig. 271 - Desenhos de montagem de paredes de toros no sistema Honka (Honka, 2015).....	309
Fig. 272 - Assentamento nas paredes de toros a considerar nos detalhes das casas Honka. Toros redondos e rectangulares maciços 2" a 3" por 3'-3" de altura de parede e Toros lamelados 3/8" a 1-1/8" por 3'-3" de altura de parede (Honka, 2015).....	311
Fig. 273 - Princípios a utilizar nos detalhes para integrar o assentamento da construção: Junta de assentamento no lintel, juntas e ligações deslizantes nos topos de uma parede interior e ligações deslizantes na fixação de armários de parede (Milne, 1984).....	312
Fig. 274 - Pavimento térreo e pavimento elevado no sistema Rusticasa (LNEC, 2012).....	313
Fig. 275 - Formas básicas de toros (Lewis, 2015) e composições de parede (Kolb, 2008).....	314
Fig. 276 - Tipos de ligação nos cantos das paredes (Kuusamo Log Houses, 2015). Toro laminado de 230mm com junta a meia esquadria e remate; toro laminado de 88mm com parede dupla isolada; toro laminado de secção rectangular com 230mm, toro maciço de secção circular com 230mm e toros laminados com juntas à face cobertas com remate.....	315
Fig. 277 - Vários tipos de juntas de canto segundo manual da empresa Norte Americana Avalon Log Homes (Avalon Log Homes, 2011).....	316
Fig. 278 - Pormenores de instalação de um vão de janela. Lintel, pré-aros e guarnições (Honka, 2015).....	317
Fig. 279 - Solução com sistema de vigotas leves e ligações com a parede (Honka, 2015).....	318
Fig. 280 - Soluções de cobertura da Rusticasa (LNEC, 2012): Solução de vigamento à vista ou duplo e vigamento oculto ou simples.....	319
Fig. 281 - Soluções de juntas entre escadas e o piso superior e entre paredes de toros e paredes de alvenaria (Honka, 2015).....	320
Fig. 282 - Soluções para infraestruturas (Honka, 2015).....	321
Fig. 283 - Secções de toros oferecidas pela empresa EuroHonka (EuroHonka, 2015), maciços ou lamelados colados, com secções circulares, rectangulares ou mistas.....	322
Fig. 284 - Sistema Honka Fusion com toros isolados pelo exterior, podendo alternar com a mesma solução pelo interior (Honka, 2015).....	324
Fig. 285 - Relação 1:8 entre projecção do beirado e altura da construção (ILBA, 2011) (Musick, 1999).....	326
Fig. 286 - Exemplo de processo de personalização a partir de solução de catálogo (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015).....	330
Fig. 287 - Diferentes opções construtivas sobre a mesma solução funcional (Precision Craft - Log & Timber Homes, 2015).....	331
Fig. 288 - Haus Luzi (Rakennustieto Oy, 2006) e Annalise Haus Peter Zumthor ( <a href="http://www.dezeen.com/2013/01/08/zumthor-lets-holiday-home-to-guests/">http://www.dezeen.com/2013/01/08/zumthor-lets-holiday-home-to-guests/</a> ).....	332
Fig. 289 - Honka Fusion house (Honka, 2015).....	332
Fig. 290 - Honka Fusion house (Honka, 2015).....	332
Fig. 291 - Twin Peaks house ( <a href="http://www.confederationloghomes.com/twin-peaks/">http://www.confederationloghomes.com/twin-peaks/</a> ).....	332
Fig. 292 - Sistema de painéis pesados de madeira lamelados cruzados (Desenho do autor - exemplo do caso de estudo).....	333
Fig. 293 - Edifício típico de dois pisos com painéis lamelados colados cruzados (Karacabeyli & Douglas, 2013) e pormenor construtivo tipo de fachada ventilada com estore (TISEM, 2005).....	336
Fig. 294 - Princípios construtivos de diferentes fabricantes. (CSTB, 2013) (CSTB, 2014).....	337
Fig. 295 - Variação da aplicação dos painéis de pavimento e tecto em apartamentos (KLH, 2011).....	338
Fig. 296 - Tipos de painéis da empresa Binderholz (Binderholz, 2015).....	339
Fig. 297 - Tipos de painéis da empresa Storaenro (Stora Enso, 2015).....	340
Fig. 298 - Ligações de parede e pavimentos: Sistema de paredes contínuas; Sistema de plataforma e Sistema de plataforma com ligações ocultas (Karacabeyli & Douglas, 2013).....	341
Fig. 299 - Junta em Z coberta com fita betuminosa se for exigida estanquidade ao ar (fogo, fumo). Um tipo de junta alternativa pode ser executada com uma régua de contraplacado inserida num rebaixo realizado no topo do painel (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	342
Fig. 300 - a) Caso de junta resistente à flexão, para painéis de menor espessura; b) Caso de junta resistente à flexão, transversal à direcção principal dos esforços (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	342
Fig. 301 - a) Caso de juntas resistentes à flexão para painéis de maior espessura com dupla camada; b) Possibilidades de juntas com e sem entalhe (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	342
Fig. 302 - Soluções de paredes exteriores: a) Revestimento de madeira e isolamento flexível em duas camadas com juntas cobertas; b) Isolamento de celulose injectado com sectores definidos por uma estrutura de sarrafos e placas de OSB; c) Fachadas rebocadas com uma camada de isolamento térmico (KLH Massivholz GmbH, 2012).....	342
Fig. 303 - Base das paredes exteriores: a) Sem travessa de base; b) Com uma travessa de base de madeira de reduzida espessura; c) Com uma travessa de base de madeira de maior espessura; d) Painéis de espessuras maiores (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	343
Fig. 304 - Parede exterior com ligação a parede interior e pavimento intermédio (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	343
Fig. 305 - Ligação entre paredes exteriores e pavimento intermédio (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	343
Fig. 306 - Parede contínua com ligação a pavimento de madeira (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	343
Fig. 307 - a) Paredes com ligações diferentes de 90°. b) Parede exterior com ligação a cobertura inclinada (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	343
Fig. 308 - a) Janela e fachada com perfis de madeira e caixa-de-ar; b) Janela e fachada com isolamento e reboco (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	345
Fig. 309 - Junção de painéis de cobertura (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	345
Fig. 310 - Balanço da cobertura na empena (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	345
Fig. 311 - Balanços para coberturas inclinadas (KLH Massivholz GmbH, 2012).....	345
Fig. 312 - Balanços para coberturas planas (KLH Massivholz GmbH, 2012).....	345
Fig. 313 - Muretes de coberturas planas (KLH Massivholz GmbH, 2012).....	348
Fig. 314 - Murete com guarda mão para cobertura visitável (KLH Massivholz GmbH, 2012).....	348
Fig. 315 - Muretes de vãos zenitais; b) Varandas; c) Zonas húmidas (KLH Massivholz GmbH, 2012).....	348
Fig. 316 - Roços verticais; b) roços em painéis de tecto; c) em situações de intradorso visível (KLH Massivholz GmbH, 2013b).....	348

Fig. 317 - Soluções de estanquidade ao ar através de tela exterior e através de fitas betuminosas nas juntas de ligação entre painéis (KLH Massivholz GmbH, 2013b).	351
Fig. 318 - Soluções de transporte dos painéis na horizontal ou na vertical (Ahvenainen, 2013).	354
Fig. 319 - Habitação em Mautern, Austria - Empresa Storaenso (Stora Enso, 2015).	357
Fig. 320 - Habitação em Blasenstein, Austria - Empresa Storaenso (Stora Enso, 2015).	357
Fig. 321 - Habitação em Sistrans, Austria - Empresa Storaenso (Stora Enso, 2015).	357
Fig. 322 - Habitação em Graz, Austria - Empresa Binderholz (Binderholz, Single-family house, Graz, 2015).	357
Fig. 323 - Habitação no Reino Unido - Watson House - Empresa KLH ( <a href="http://www.klhuk.com/portfolio/residential/watson-house.aspx">http://www.klhuk.com/portfolio/residential/watson-house.aspx</a> ).	357
Fig. 324 - Processo de projecto segundo Zunde e Bougdah (Zunde & Bougdah, 2006).	374
Fig. 325 - Sistemas utilizados pelas empresas.	405
Fig. 326 - Tipo estrutural preferencial de cada empresa.	405
Fig. 327 - Argumentos de venda de casas de madeira.	406
Fig. 328 - Tipo de cliente que aborda a empresa.	406
Fig. 329 - Preço médio por m <sup>2</sup> de uma casa de madeira de qualidade média, por empresa.	408
Fig. 330 - Forma de apresentar a oferta aos clientes.	408
Fig. 331 - Objectivo dos catálogos de soluções nas empresas.	408
Fig. 332 - Processo de abordagem do cliente ao projecto.	409
Fig. 333 - Processo de abordagem do Arquitecto ao projecto.	409
Fig. 334 - Dificuldades do Arquitecto.	410
Fig. 335 - Implicações da intervenção do Arquitecto no processo de projecto.	410
Fig. 336 - Escolha do tipo estrutural.	411
Fig. 337 - Critérios de escolha do tipo estrutural.	411
Fig. 338 - Relação adequação/ preferência entre critérios de projecto e sistemas estruturais.	412
Fig. 339 - Relação de adequação/preferência entre critérios arquitectónicos e sistemas estruturais.	413
Fig. 340 - Relação entre moradias licenciadas de construção nova e o número de moradias (INE, 2012).	433
Fig. 341 - Relação entre edifícios de habitação licenciados de construção nova e o número total de edifícios licenciados (INE, 2012).	434
Fig. 342 - Relação entre edifícios de habitação concluídos de construção nova e o número total de edifícios concluídos (INE, 2012).	434
Fig. 343 - Relação entre as percentagens de moradias de construção nova e o número total de edifícios de habitação familiar (edifícios licenciados e construídos) (INE, 2012).	435
Fig. 344 - Fogos licenciados em moradias em construção nova c/ 1 fogo e Fogos licenciados em apartamentos em construção nova (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	435
Fig. 345 - Número de fogos (em moradias) por tipologia (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	436
Fig. 346 - Percentagem de Moradias T3 com 1 fogo em relação ao total de moradias com um fogo (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	436
Fig. 347 - Número de moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3, por número de pisos acima da cota de soleira (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	436
Fig. 348 - Número de moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3 com 2 pisos acima da cota de soleira, por número de pisos abaixo da cota de soleira (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	437
Fig. 349 - Percentagens de moradias de habitação familiar em construção nova com um fogo de tipologia T3 com 2 pisos acima da cota de soleira, com 0 ou 1 pisos abaixo da cota de soleira em relação ao número total de moradias com um fogo (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	437
Fig. 350 - Número de moradias de um fogo, por tipologia, número de pisos acima da cota de soleira e número de pisos abaixo da cota de soleira licenciamento para construção nova (INE, Base de dados: SIOU, 2012).	438
Fig. 351 - Plantas do Piso 0 e do Piso 1 da solução base.	443
Fig. 352 - Esquema de evolutividade da solução base (Tipologias T0, T1, T2, T3, T4 e T5).	443
Fig. 353 - Plantas do piso 0 e do piso 1 - Solução alternativa.	444
Fig. 354 - Esquema de evolutividade da solução alternativa (Tipologias T0, T1, T2, T3, T4 e T5).	444
Fig. 355 - Tipos simbólicos aplicados à solução base.	445
Fig. 356 - Tipos simbólicos aplicados à solução alternativa.	446
Fig. 357 - Solução escolhida. Cortes transversais e longitudinais, alçados norte e sul e perspectivassudoeste e nordeste.	448
Fig. 358 - Alçados Sul e Norte da solução desenvolvida.	449
Fig. 359 - Axonometria seccionada da solução estrutural de reticulados leves aplicada à solução formal pré-definida.	450
Fig. 360 - Grelha estrutural implantação da estrutura no piso térreo.	452
Fig. 361 - Grelha estrutural implantação da estrutura no piso 1.	452
Fig. 362 - Axonometria inferior sem os revestimentos de acabamento de tectos.	453
Fig. 363 - Cortes (Norte Sul e Este Oeste) da solução estrutural.	454
Fig. 364 - Encontro de canto entre duas paredes exteriores e duas paredes interiores, com revestimento estrutural em OSB pelo exterior na imagem da direita.	455
Fig. 365 - Axonometria estrutural com paredes exteriores e interior do piso térreo.	456
Fig. 366 - Grelha estrutural com a estrutura do pavimento do piso 1.	457
Fig. 367 - Axonometria estrutural com paredes do piso térreo e pavimento do piso 1.	458
Fig. 368 - Axonometria estrutural. Proposta de solução da varanda a sul.	459
Fig. 369 - Abertura de vão de escada no pavimento.	460
Fig. 370 - Axonometria estrutural com o piso térreo e as paredes do piso 1.	460
Fig. 371 - Estrutura do pavimento do tecto do piso 1 e grelha estrutural.	461
Fig. 372 - Axonometria estrutural com o piso térreo, as paredes e o tecto do piso 1.	462
Fig. 373 - Estrutura da Cobertura e grelha estrutural.	463
Fig. 374 - Axonometria estrutural com a montagem dos componentes leves de madeira maciça finalizada.	464
Fig. 375 - Axonometria com o revestimento estrutural das paredes exteriores em painéis OSB.	465
Fig. 376 - Plantas do piso 1. Distribuição optimizada dos painéis de revestimento estrutural do pavimento em painéis OSB.	465
Fig. 377 - Axonometria. Revestimento completo com revestimento estrutural em painéis OSB.	466

Fig. 378 - Axonometria da estrutura completa de reticulados leves sem os painéis de revestimento estrutural .....	468
Fig. 379 - Axonometria noroeste da solução estrutural de reticulados leves .....	470
Fig. 380 - Axonometria noroeste da solução estrutural de reticulados leves .....	470
Fig. 381 - Corte construtivo pela fachada da solução com reticulados leve .....	471
Fig. 382 - Perspectivas da solução desenvolvida em referência ao sistema formal, a utilizar no caso de estudo .....	472
Fig. 383 - Tipo estrutural principal e Tipo estrutural com integração da envolvente em painéis sanduiche (SIP) .....	473
Fig. 384 - Plantas de compartimentação e teste de sobreposição de grelhas regulares de 5,00mx5,00m e de 3,30mx3,30m .....	474
Fig. 385 - Plantas do Piso 0 e Piso 1 - Integração Arquitectura-Estrutura .....	475
Fig. 386 - Planta do piso 0. Grelha estrutural adoptada e compartimentação interior .....	475
Fig. 387 - Axonometria interior mostrando a conjugação entre compartimentação e estrutura .....	476
Fig. 388 - Alçados Oeste e Sul com a estrutura de pilares e vigas .....	477
Fig. 389 - Alçados Oeste e sul com a envolvente de painéis SIP sobre a estrutura .....	477
Fig. 390 - Estrutura da compartimentação interior na IS do piso térreo e revestimento estrutural na mesma IS .....	478
Fig. 391 - Axonometria do piso térreo com a compartimentação e a envolvente com painéis sanduiche (SIP) .....	479
Fig. 392 - Solução alternativa para as vigas de pavimento com uma viga e pilares adicionais de suporte .....	480
Fig. 393 - Planta da estrutura do pavimento do piso 1 .....	480
Fig. 394 - Axonometria da estrutura do piso térreo, e do pavimento do piso 1 .....	481
Fig. 395 - Varanda sul e sector da varanda com a implantação dos painéis SIP no piso térro .....	481
Fig. 396 - Vazio das escadas .....	482
Fig. 397 - Compartimentação do piso superior .....	482
Fig. 398 - Planta e axonometria com uma solução alternativa de pavimento para o piso 2 .....	483
Fig. 399 - Pavimento do Piso 2 .....	484
Fig. 400 - Pavimento do piso 2 .....	484
Fig. 401 - Vigamento da cobertura .....	485
Fig. 402 - Estrutura da cobertura e revestimentos de OSB no pavimento e painéis SIP nas paredes do piso 0 .....	486
Fig. 403 - Revestimento das paredes do piso 1 com painéis SIP .....	486
Fig. 404 - Revestimento da cobertura com painéis SIP .....	487
Fig. 405 - Axonometria da estrutura completa do sistema de porticados sem a envolvente .....	489
Fig. 406 - Axonometria noroeste da solução estrutural de porticados .....	491
Fig. 407 - Axonometria noroeste inferior da solução estrutural de porticados .....	491
Fig. 408 - Corte construtivo pela fachada da solução de porticados, com envolvente em painéis sanduiche SIP .....	492
Fig. 409 - Perspectivas da solução desenvolvida em referência ao sistema formal, a utilizar no caso de estudo .....	493
Fig. 410 - Tipo estrutural principal e o mesmo sistema com integração das escadas, e dos painéis de pavimento e de cobertura em OSB .....	494
Fig. 411 - Plantas de compartimentação e grelha estrutural do piso 0 e do piso 1 .....	495
Fig. 412 - Axonometria inferior mostrando os aspectos estruturais visíveis a partir do interior .....	496
Fig. 413 - Alçados Sul e Norte, evidenciando apenas os elementos estruturais .....	496
Fig. 414 - Cortes transversais, evidenciando apenas os elementos estruturais .....	497
Fig. 415 - Estrutura da compartimentação interior em toros e parede reticulada na IS do piso térreo .....	498
Fig. 416 - Piso térreo e superior com marcação a tracejado das duas vigas onde assentam as paredes superiores .....	498
Fig. 417 - Axonometria do piso térreo com a compartimentação e a envolvente com toros esquadriados lamelados .....	499
Fig. 418 - Axonometria da estrutura das paredes do piso térreo e do pavimento do piso 1 .....	499
Fig. 419 - Varanda sul .....	500
Fig. 420 - Vazio das escadas .....	500
Fig. 421 - Compartimentação do piso superior .....	501
Fig. 422 - Planta do pavimento do Piso 1 .....	502
Fig. 423 - Axonometria do pavimento do piso 1 .....	502
Fig. 424 - Vigamento da cobertura .....	503
Fig. 425 - Cobertura .....	504
Fig. 426 - Revestimento estrutural da cobertura .....	504
Fig. 427 - Axonometria da estrutura (elementos verticais) .....	506
Fig. 428 - Resultado da solução arquitectónica depois da adaptação do sistema formal ao sistema construtivo .....	507
Fig. 429 - Axonometria noroeste da solução estrutural de paredes pesadas de toros .....	509
Fig. 430 - Axonometria noroeste inferior da solução estrutural de paredes pesadas de toros .....	509
Fig. 431 - Corte construtivo pela fachada da solução de paredes pesadas de toros .....	510
Fig. 432 - Perspectivas Noroeste e Sudeste da solução desenvolvida .....	511
Fig. 433 - Tipo estrutural com os painéis de parede instalados sobre uma laje de betão aos quais se sucedem os restantes painéis de pavimento e cobertura .....	512
Fig. 434 - Grelha estrutural de posicionamento das paredes .....	513
Fig. 435 - Axonometria inferior revelando a compartimentação especial dos espaços interiores com potencial de uso expressivo dos painéis deixados à vista (paredes interiores e tectos) .....	513
Fig. 436 - Alçados sul e norte .....	514
Fig. 437 - Cortes transversais .....	514
Fig. 438 - Axonometria do piso térreo com a compartimentação e a envolvente com painéis lamelados cruzados colados .....	515
Fig. 439 - Planta da estrutura do pavimento do piso 1 .....	515
Fig. 440 - Axonometria da estrutura do piso térreo e do pavimento do piso 1 .....	516
Fig. 441 - Varanda sul .....	516
Fig. 442 - Compartimentação do piso superior .....	517
Fig. 443 - Planta do pavimento do Piso 1, mostrando a distribuição das juntas dos painéis .....	518
Fig. 444 - Axonometria do pavimento do piso 1 .....	518
Fig. 445 - Painéis de cobertura .....	519
Fig. 446 - Axonometria sem os painéis de cobertura .....	520
Fig. 447 - Axonometria .....	521
Fig. 448 - Axonometria noroeste da solução estrutural de painéis pesados de lamelados cruzados colados .....	523

Fig. 449 - Axonometria noroeste inferior da solução estrutural de painéis pesados de lamelados cruzados colados.....	523
Fig. 450 - Corte construtivo pela fachada da solução com painéis pesados lamelados colados.....	524
Fig. 451 - Anúncio da empresa Knol Design, especializada em projectos residenciais ( <a href="http://www.kentknoll.com/design.htm">http://www.kentknoll.com/design.htm</a> ).....	527
Fig. 452 - Exemplo de árvore de pontos de vista para avaliação das empresas no programa M-MACBETH.....	583
Fig. 453 - Princípios para protecção de entrada de água pela envolvente (American Wood Council, 2006).....	585
Fig. 454 - Detalhes aplicáveis ao sistema de reticulados leves (American Wood Council, 2006).....	586
Fig. 455 - Detalhes aplicáveis ao sistema de reticulados leves (Almeida, Pormenorização e protecção por projecto, 2010b).....	586
Fig. 456 - Detalhes e preocupações aplicáveis ao sistema de porticados e reticulados (FP Innovations, 2015).....	587
Fig. 457 - Detalhes aplicáveis ao sistema de toros (Peraza Sánchez, et al., 1995).....	588
Fig. 458 - Detalhes aplicáveis ao sistema de toros (Musick, 1999).....	588
Fig. 459 - Detalhes aplicáveis ao sistema de toros (Milne, 1984).....	588
Fig. 460 - Detalhes aplicáveis ao sistema de lamelados colados cruzados - CLT (CSTB, 2012).....	589
Fig. 461 - Detalhes aplicáveis ao sistema de lamelados colados cruzados (Stora Enso, 2015).....	589
Fig. 462 - Detalhes aplicáveis ao sistema de lamelados colados cruzados (Stora Enso, 2015).....	589
Fig. 463 - Outros detalhes para a integridade construtiva aplicáveis principalmente aos sistemas porticados (APA - The Engineered Wood Association, 1999).....	591
Fig. 464 - Tipos estruturais considerados (reticulados leves, porticados, paredes pesadas de toros, painéis pesados de lamelados colados - CLT) e as soluções arquitectónicas: preferencial e em toros (Desenhos do autor).....	592
Fig. 465 - Catálogo e lista de preços da empresa Rusticasa.....	593
Fig. 466 - Projectos de referência. Summer House In Southern Burgenland de Judith Benzer, Cottages em Marlboro College campus in Marlboro, Vermont de HGA Architects, e Architektur Haus für Julia und Björn de Innauer-Matt Architekten ( <a href="http://www.contemporist.com/2015/03/18/contemporized-classic-vermont-cottages/">http://www.contemporist.com/2015/03/18/contemporized-classic-vermont-cottages/</a> ).....	594
Fig. 467 - Programa M-MACBETH, com os pontos de vista, a tabela de "performances" e a tabela de pontuações.....	595
Fig. 468 - Programa M-MACBETH, com gráfico de análise custo-benefício das soluções, gráfico de ponderação global e termómetro global de pontuações.....	597
Fig. 469 - Axonometrias inferiores mostrando aspectos arquitectónicos dos diferentes sistemas construtivos (Desenhos do autor).....	597
Fig. 470 - Integração entre a estrutura e a Arquitectura no Estudo prévio da solução de porticados (Desenhos do autor).....	598
Fig. 471 - Estrutura do primeiro piso dos quatro sistemas construtivos (Desenhos do autor).....	599

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas totais por espécie florestal dominante (Uva, 2013, p. 20).	115
Tabela 2 - Espécies de árvores florestais mais comuns em Portugal continental (Uva, 2013, p. 32).	115
Tabela 3 - Madeiras com maior aplicação em estruturas em Portugal (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 18).	117
Tabela 4 - Componentes estruturais lineares.	151
Tabela 5 - Componentes estruturais planos.	151
Tabela 6 - Componentes estruturais em blocos.	151
Tabela 7 - Operações de integração de componentes básicos e tipos estruturais resultantes.	152
Tabela 8 - Componentes completos e elementos dos tipos estruturais.	152
Tabela 9 - Proposta de classificação - Geometria e peso relativo dos elementos de construção.	158
Tabela 10 - Proposta alternativa de classificação segundo as unidades de projecto.	159
Tabela 11 - Proposta alternativa de classificação segundo o grau de pré-fabricação.	159
Tabela 12 - Proposta alternativa de classificação segundo a operação de montagem dos componentes em obra.	159
Tabela 13 - Esquemas síntese dos tipos estruturais identificados (Desenhos autor).	190
Tabela 14 - Exemplos dos tipos estruturais identificados.	192
Tabela 15 - Características tipológicas dos tipos estruturais.	194
Tabela 16 - Características tipológicas dos tipos de envolvente (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008, pp. 289-291).	195
Tabela 17 - Características tipológicas dos tipos de compartimentação interior.	195
Tabela 18 - Características tipológicas dos tipos funcionais.	197
Tabela 19 - Síntese de tipos funcionais.	197
Tabela 20 - Características tipológicas dos tipos espaciais.	198
Tabela 21 - Síntese de tipos espaciais.	199
Tabela 22 - Características tipológicas simbólicas com base nos tipos espaciais.	200
Tabela 23 - Características tipológicas dos tipos simbólicos.	201
Tabela 24 - Tipos simbólicos mais comuns.	202
Tabela 25 - Tipos simbólicos excepcionais.	203
Tabela 26 - Tipos simbólicos integrando o factor geometria.	203
Tabela 27 - Síntese dos tipos simbólicos.	204
Tabela 28 - Madeira serrada segundo as dimensões comuns Suecas e Finlandesas (conteúdo de humidade de 20%) (Martitegui, Herrero, & González, 2010).	292
Tabela 29 - Madeira acabada segundo dimensões comuns nos países nórdicos (conteúdo de humidade de 17%) (Martitegui, Herrero, & González, 2010).	292
Tabela 30 - Extracto do quadro síntese de critérios de design (Allen & Iano, 2002, p. 19).	368
Tabela 31 - Exigências habitacionais (Pedro, 2003).	369
Tabela 32 - Pontos de vista com os níveis do grupo de qualidades e respectivas qualidades (Pedro, 2003).	370
Tabela 33 - Árvore de pontos de vista com os níveis do grupo de qualidades, respectivas qualidades e indicadores de qualidade (Pedro, 2003).	370
Tabela 34 - Exemplo de processo de avaliação com base na formulação exigencial (Pedro, 2003).	371
Tabela 35 - Exigências de qualidade para o nível físico do edifício (Pedro, 2003, p. 168).	371
Tabela 36 - Exemplo de Grupos de qualidades, qualidade, indicadores, critério, descritor (Pinto Duarte, 2007).	372
Tabela 37 - Árvore de pontos de vista (Pinto Duarte, 2007).	372
Tabela 38 - Elaboração e faseamento de projectos. Síntese da Portaria nº 701-H/2008 de 29 de Julho (Portugal, 2008b).	377
Tabela 39 - Aspectos a considerar no programa de projecto (Natterer, Part 4 Timber engineering, 2008, p. 78).	389
Tabela 40 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento de um projecto arquitectónico para habitação em madeira segundo Bittencourt e Hellmeister (1995).	390
Tabela 41 - Exemplo de factores a considerar numa avaliação de sistemas construtivos.	394
Tabela 42 - Exemplo de matriz de avaliação de um tipo estrutural (Natterer, Part 4 Timber engineering, 2008).	395
Tabela 43 - Tabela síntese de princípios construtivos. (Benoit & Paradis, 2008).	395
Tabela 44 - Avaliação de sistemas construtivos.	396
Tabela 45 - Conhecimento de base.	397
Tabela 46 - Lista de empresas entrevistadas e local da entrevista.	404
Tabela 47 - Lista de outras empresas contactadas mas não entrevistadas.	404
Tabela 48 - Tipos de empresas.	405
Tabela 49 - Licenciamento de moradias de um fogo para construção nova.	437
Tabela 50 - Licenciamento de moradias de um fogo para construção nova (percentagens do total de moradias).	438
Tabela 51 - Número moradias de 1 fogo T3 com 2 pisos, por áreas da Habitação (áreas em m2).	439
Tabela 52 - Actualização dos dados gerais referentes a construções novas para habitação licenciadas e construídas para edifícios de apartamentos, fogos totais e moradias (INE, Base de dados, 2015).	439
Tabela 53 - Áreas e funções para uma tipologia T3 com capacidade para 6 pessoas.	441
Tabela 54 - Compartimentos correspondentes ao programa de uma tipologia T3 com capacidade para 6 pessoas.	441
Tabela 55 - Programa de áreas da solução base (planta quadrada).	442
Tabela 56 - Áreas brutas da solução base (planta quadrada).	442
Tabela 57 - Programa de áreas da solução alternativa.	444
Tabela 58 - Tipologias Arquitectónicas e listagem dos tipos parciais mais importantes.	535
Tabela 59 - Factores de caracterização tipológica para a definição de uma tipologia arquitectónica.	536
Tabela 60 - Adequação dos tipos estruturais aos tipos funcionais.	540
Tabela 61 - Adequação dos tipos estruturais aos tipos espaciais.	540
Tabela 62 - Adequação dos tipos estruturais aos tipos simbólicos - Soluções preferenciais.	541
Tabela 63 - Adequação do subtipo de reticulados leves aos vários tipos simbólicos.	542
Tabela 64 - Adequação do subtipo de porticados pilar-viga aos vários tipos simbólicos.	542
Tabela 65 - Adequação do subtipo de paredes pesadas de toros serrados aos vários tipos simbólicos.	543
Tabela 66 - Adequação do subtipo de painéis pesados de lamelados cruzados colados aos vários tipos simbólicos.	543



Tabela 67 - Adequação do subtipo paredes leves de pranchas e montantes aos vários tipos simbólicos.	543
Tabela 68 - Síntese da adequação dos vários subtipos estruturais aos vários tipos simbólicos.	544
Tabela 69 - Critérios codificados em regulamentos e normas.	545
Tabela 70 - Critérios mandatórios definidos pelo cliente.	546
Tabela 71 - Critérios com pesos para avaliação ponderada definidos pelo cliente.	546
Tabela 72 - Critérios de avaliação (Síntese).	548
Tabela 73 - Síntese das fases de projecto.	552
Tabela 74 - Pesos relativos das fases de projecto.	553
Tabela 75 - Lista de dados do contexto a reunir, fornecidos pelo cliente com orientação do projectista.	555
Tabela 76 - Lista de dados do cliente.	555
Tabela 77 - Tabela de prioridades.	556
Tabela 78 - Características para definição do tipo funcional.	556
Tabela 79 - Síntese do tipo funcional.	557
Tabela 80 - Características para definição do tipo espacial.	557
Tabela 81 - Síntese do tipo espacial.	557
Tabela 82 - Determinação do limite orçamental.	558
Tabela 83 - Determinação das áreas necessárias por nível de qualidade (Pedro, 2003) para eventual revisão.	558
Tabela 84 - Exemplo de tabela de ordenação do tipo estrutural segundo o critério económico.	558
Tabela 85 - Tabela de apoio à decisão de escolha do tipo simbólico.	559
Tabela 86 - Catálogo tipológico ilustrado para apoio à escolha do tipo simbólico (exemplo).	560
Tabela 87 - Tabela de apoio à selecção do tipo estrutural.	561
Tabela 88 - Tabela de apoio à selecção do tipo estrutural com base nos tipos simbólicos preferenciais.	562
Tabela 89 - Matriz genérica de apoio à avaliação e escolha preliminar do tipo ou dos tipos estruturais (exemplo).	562
Tabela 90 - Opções gerais de projecto para reticulados leves.	563
Tabela 91 - Opções de projecto para porticados.	565
Tabela 92 - Opções de projecto para paredes pesadas de toros.	567
Tabela 93 - Opções de projecto para painéis pesados de lamelados colados cruzados - CLT.	569
Tabela 94 - Procedimentos e questões de projecto para definição da solução construtiva.	570
Tabela 95 - Estratégias de economia (redução de custos).	573
Tabela 96 - Estratégias de durabilidade (American Wood Council, 2006) (Canadian Wood Council, 2014).	575
Tabela 97 - Estratégias de integridade construtiva (FP Innovations, 2015).	580
Tabela 98 - Exemplo de matriz de avaliação de três propostas alternativas.	582
Tabela 99 - Avaliação de propostas de empresas.	582
Tabela 100 - Bases para um plano de Inspeção periódica (Canadian Wood Council, 2014) (Martins, 2009) (Cruz, 2011) (Honka, 2015).	583
Tabela 101 - Tabela de ordenação do tipo estrutural segundo o critério económico.	593
Tabela 102 - Tabela de critérios e níveis de "performance".	596
Tabela 103 - Tabela de "performances".	596
Tabela 104 - Tabela de pontuações M-MACBETH.	596
Tabela 105 - Tabela de critérios e níveis de "performance".	600
Tabela 106 - Tabela de "performances".	601
Tabela 107 - Tabela de pontuações M-MACBETH.	601
Tabela 108 - Tabela de pontuações M-MACBETH com o sistema de toros isolados pelo exterior.	602
Tabela 109 - Tabela do cenário "Arquitectura", com as pontuações globais em cada sub-cenário.	603
Tabela 110 - Tabela do cenário "durabilidade", com as pontuações globais em cada sub-cenário.	603
Tabela 111 - Tabela do cenário "preço", com as pontuações globais em cada sub-cenário.	604
Tabela 112 - Tabela alternativa do cenário "preço", com peso maior do critério "durabilidade" e em relação ao peso do critério "Arquitectura", com as pontuações globais em cada sub-cenário.	604
Tabela 113 - Tabela alternativa do cenário "preço", com um limite inferior de 200.000 Euros, com peso maior do critério "durabilidade" em relação ao peso do critério "Arquitectura", com as pontuações globais em cada sub-cenário.	605
Tabela 114 - Tabela do cenário "ambiente", com as pontuações globais em cada sub-cenário.	605

## ÍNDICE DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Diagrama conceptual da tese.	5
Fluxograma 2 - Síntese da evolução dos sistemas construtivos.	87
Fluxograma 3 - Sistematização tipológica dos tipos arquitectónicos.	146
Fluxograma 4 - Desenvolvimento de projecto com estrutura de madeira (Natterer, Herzog, & Volz, Atlante del legno, 1999).	375
Fluxograma 5 - Hierarquia dos actores no processo corrente de projecto.	384
Fluxograma 6 - Hierarquia dos actores no processo corrente de projecto de casas de madeira.	384
Fluxograma 7 - Modalidades de processos de projecto (A, B, C).	529
Fluxograma 8 - Modalidade de processo de projecto proposta (D).	531
Fluxograma 9 - Programa preliminar - Informações a reunir.	533
Fluxograma 10 - Programa base.	537
Fluxograma 11 - Definição dos tipos simbólicos e definição dos tipos estruturais na fase de programa base.	539
Fluxograma 12 - Estudo prévio.	549