



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



ACADEMIA MILITAR
DULCE ET DECORUM EST PRO PATRIA MORI

Coberturas e Fachadas Verdes

João Ricardo Rodrigues da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Militar

Júri

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel Alves Dias
Orientadora: Professora Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva
Vogais: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes
Major de Engenharia Mestre João Carlos Martins Rei

Dezembro 2012

Agradecimentos

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo os meus sinceros agradecimentos, especialmente:

À professora Cristina Matos Silva, pela oportunidade que me concedeu de estudar este tema, pela sua orientação, constantes sugestões e conhecimentos que me transmitiu;

Aos vários elementos da Iniciativa Construção Sustentável e da Liga para a Proteção da Natureza que com total disponibilidade me receberam e esclareceram as minhas dúvidas, especialmente à arquiteta Livia Tirone, à Engenheira Helena Farrall e ao Professor Eugénio Sequeira;

Ao Tenente Coronel Fernandes que com a sua boa-disposição, se mostrou sempre disponível para qualquer esclarecimento, cujas indicações e comentários foram importantes para o trabalho;

Aos meus pais que sempre se interessaram pela dissertação e que souberam sempre dar o apoio necessário para a realização da mesma;

À minha tia que com a sua experiência académica diversas vezes me ajudou e corrigiu o meu trabalho;

À Vanessa, pela constante paciência, interesse e motivação que me transmitiu e especialmente por estar sempre presente. A ela, por todo o seu amor e carinho que nos momentos mais difíceis me ajudou e incentivou a concluir o curso, um grande obrigado!

Resumo

A população mundial tem aumentado a um ritmo elevado, tendo alcançado sete mil milhões em 2011. A procura por melhor qualidade de vida levou as pessoas a fixarem-se nas cidades. Todavia, ocorreu o efeito de sobrelotação e atualmente, as metrópoles têm diversos problemas como o efeito ilha de calor, inundações aquando dos picos de cheia, poluição atmosférica, entre outros. Urge então a necessidade de tornar as cidades resilientes, de modo a aumentar a capacidade de resposta na ocorrência de eventos danosos como chuvas fortes e ondas de calor. É essencial a criação de um modo de vida compatível e adaptável com o meio ambiente, encontrando formas de coexistência com a natureza sem colocar em risco os ecossistemas, no presente e no futuro.

As coberturas e fachadas verdes possibilitam aumentar o isolamento acústico dos edifícios, melhor a sua eficiência energética; e contribuem para a mitigação do efeito ilha de calor, dos picos de cheia e das concentrações dos gases poluentes.

Este trabalho tem como objetivo estudar o funcionamento das coberturas e fachadas verdes no clima mediterrâneo português, analisando a sua capacidade como meio passivo de aumentar a eficiência energética dos edifícios e atenuar os picos de cheia. Com base nas pesquisas efetuadas pretendeu-se identificar os principais problemas na instalação e manutenção das coberturas e fachadas verdes assim como quantificar os dados registados no caso de estudo.

Palavras chave: População Mundial; Efeito de Sobrelotação; Cidades Resilientes; Coberturas e Fachadas Verdes; Meio Passivo.

Abstract

World population has increased rapidly over the last years reaching seven billion in 2011 and with the search for a better life people have tended to move to the cities. However, with overcrowding came phenomena such as the urban heat island (UHI) effect, flooding, and atmospheric pollution among others. As such it is necessary to make cities more resilient so as to better respond to negative events such as heavy rain and heat waves. It is essential therefore to ensure that life style is adaptable and compatible with the environment by finding ways of coexisting with nature without risking both present and future ecosystems.

Green roofs and facades have enabled greater acoustic insulation, improved energy efficiency and have contributed towards the mitigation of the UHI effect, floods and atmospheric pollution concentration.

The objective of this paper is to study the performance of green roofs and facades in the Portuguese Mediterranean climate, analysing its capacity to improve energy efficiency and flood peak reaction. Based on this analysis the aim is to identify the main problems during the installation and maintenance of these systems as well as quantifying the data obtained in the case study.

Key words: World Population; Overcrowding Effect; Resilient Cities; Green Roofs and Facades; Passive Systems.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento geral	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Organização do trabalho	3
2. Conceitos gerais, estado da arte, legislação e regulamentação	5
2.1. Considerações iniciais	5
2.2. Conceitos gerais	5
2.2.1. Coberturas e fachadas verdes	5
2.2.2. Sustentabilidade	6
2.2.3. Resiliência	6
2.2.4. Alterações climáticas	6
2.3. Estado da arte	7
2.3.1. Coberturas verdes	7
2.3.1.1. Exemplos internacionais	8
2.3.1.2. Exemplos nacionais	10
2.3.2. Fachadas verdes	13
2.3.2.1. Exemplos internacionais	13
2.3.2.2. Exemplos nacionais	15
2.4. Legislação e regulamentação	17
2.4.1. Cidades com legislação e regulamentação específica de coberturas e fachadas verdes	19
2.4.2. Exemplos piloto	20
2.4.2.1. Berlim – Alemanha	20
2.4.2.2. Toronto – Canadá	21
2.4.2.3. Portland – EUA	22
2.5. Considerações finais	22
3. Sistemas construtivos	23
3.1. Considerações iniciais	23
3.2. Coberturas verdes	23
3.2.1. Classificação	23
3.2.2. Componentes do sistema	24
3.2.2.1. Suporte estrutural	24
3.2.2.2. Membrana de impermeabilização	25
3.2.2.3. Isolamento térmico	28

3.2.2.4. Membrana anti-raízes e de proteção	29
3.2.2.5. Camada de drenagem	29
3.2.2.6. Camada filtrante	30
3.2.2.7. Substrato vegetal	31
3.2.3. Considerações construtivas	31
3.2.4. Tipologias construtivas	32
3.2.4.1. Sistema sem isolamento térmico	32
3.2.4.2. Sistema de cobertura tradicional	33
3.2.4.3. Sistema de cobertura invertida	34
3.2.4.4. Sistema TF Ecológico Algibe	35
3.2.4.5. Sistemas modulares	35
3.3. Fachadas verdes	36
3.3.1. Classificação	36
3.3.2. Componentes do sistema	36
3.3.2.1. Suporte estrutural	36
3.3.2.2. Membrana de impermeabilização	38
3.3.2.3. Estrutura de suporte das plantas	38
3.3.3. Tipologias construtivas	39
3.3.3.1. Sistemas modulares	39
3.3.3.2. Sistema de redes, vasos e suportes alternativos	40
3.3.3.3. Sistema de mantas absorventes	40
3.3.3.4. Sistema tubular	41
3.4. Considerações finais	41
4. Componente térmica	43
4.1. Considerações iniciais	43
4.2. Transmissão do calor	43
4.2.1. Condução	44
4.2.2. Convecção	45
4.2.3. Radiação	45
4.3. Transmissão do calor nas coberturas verdes	46
4.4. Transmissão do calor nas fachadas verdes	49
4.4.1. Sombreamento e isolamento térmico	49
4.4.2. Arrefecimento por evaporação	50
4.4.3. Efeito barreira contra o vento	50

4.5. A eficiência energética e as coberturas e fachadas verdes	50
5. Componente hídrica	53
5.1. Considerações iniciais	53
5.2. Problemática das águas pluviais nas cidades	53
5.3. Influência das coberturas verdes na gestão hídrica das cidades	54
5.4. Influência das fachadas verdes na gestão hídrica das cidades	56
5.5. Novas abordagens na legislação	56
6. Caso de estudo	59
6.1. Considerações iniciais	59
6.2. Construção da cobertura viva	59
6.2.1. Instalação da membrana de impermeabilização	60
6.2.2. Instalação do isolamento térmico	61
6.2.3. Instalação do substrato vegetal	62
6.3. Monitorização e análise da cobertura viva	66
6.4. A problemática da implantação das coberturas e fachadas verdes em Portugal	67
7. Conclusões	69
Bibliografia	I
Anexos	VII

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Metáfora do funil (Robèrt, 1992).....	1
Figura 1.2 - Repartição da pegada ecológica (Ecological Footprint, 2005).....	2
Figura 1.3 - Pegada ecológica média atual (Ecological Footprint, 2005).	2
Figura 2.1 - Fábrica da Ford em Darborn (Xero Flor, 2003).....	8
Figura 2.2 – Fábrica de Reciclagem da Veolia (Oslo) (Arkitektkontoret GASA AS, 2008).....	8
Figura 2.3 - Complexo de coberturas verdes em Nova Iorque (Greenroofs).	9
Figura 2.4 - Complexo Potsdamer Platz em Berlim (Potsdamerplatz).	9
Figura 2.5 - Academia de ciências na Califórnia (Greenroofs).....	9
Figura 2.6 - Museu nacional da guerra no Canadá (TOA Canada).....	9
Figura 2.7 - Aldeia olímpica de Vancouver (Thechallengeseries).	10
Figura 2.8 - Habitações tradicionais dos países escandinavos (Homedit).....	10
Figura 2.9 - ETAR de Alcântara em construção (Lusa, 2011).....	11
Figura 2.10 - ETAR de Alcântara finalizada (Águas de Portugal).....	11
Figura 2.11 - Vista aérea do CCB (Centro Cultural de Belém).....	11
Figura 2.12 - Jardim das oliveiras no CCB	11
Figura 2.13 - Vista aérea da cobertura verde adjacente ao museu da fundação Calouste Gulbenkian (Google).....	12
Figura 2.14 - Vista lateral do museu da fundação Calouste Gulbenkian (Gulbenkian).....	12
Figura 2.15 - Cobertura extensiva de sedum numa habitação particular em Vila Nova de Gaia (NEOTURF).....	12
Figura 2.16 - Garagem coberta de vegetação em Cascais (Clorofila).....	12
Figura 2.17 – “Data center” na Malásia (Latif, 2011).	13
Figura 2.18 - Protótipo da quinta vertical (Graff).....	13
Figura 2.19 – Complexo Acros Fukuoka, Japão (Uffelen, 2011).....	14
Figura 2.20 – Complexo Consorcio Santiago, Chile (Uffelen, 2011).	14
Figura 2.21 - Hospital universitário em Bruxelas, Bélgica (Uffelen, 2011).	14
Figura 2.22 - Museu do Quai Branly em Paris, França (Uffelen, 2011).....	14
Figura 2.23 - Postes ajardinados em Nova Iorque, USA (Uffelen, 2011).	15
Figura 2.24 - Moradia unifamiliar em Bruxelas, Bélgica (Uffelen, 2011).	15
Figura 2.25 – Pátio entre as Natura Towers, em Lisboa (Clorofila, 2011).....	16
Figura 2.26 - Simulação noturna das Natura Towers, em Lisboa (Lojas).	16
Figura 2.27 – Zona lateral da fachada verde localizada no Dolce Vita Tejo.	16
Figura 2.28 – Zona frontal da fachada verde localizada no Dolce Vita Tejo.	16
Figura 2.29 - Condomínio privado em Coimbra (Clorofila, 2011).	17
Figura 2.30 - Moradia particular em Coimbra (Clorofila, 2011).....	17
Figura 2.31 - Evolução das políticas das coberturas verdes; adaptado de (CMHC, 2006).....	17
Figura 3.1 – Componentes das coberturas verdes; adaptado de (Ferraz & Forte, 2010).	24
Figura 3.2 – Murete verde envolvente na cobertura do Phillips Eco-Enterprise Centre, Minneapolis, EUA (Dunnett & Kingsbury, 2008).	25

Figura 3.3 – Vedação metálica na envolvente da cobertura do Moorgate Crofts Business Centre, Rotherham, Reino Unido (Dunnett & Kingsbury, 2008).	25
Figura 3.4 – Aplicação das membranas betuminosas a quente (WMroofing, 2009).	27
Figura 3.5 – Esquema ilustrativo das camadas aplicadas de feltro e betume (Carson Dunlop Associates , 2009).	27
Figura 3.6 – Aplicação dos rolos de membranas “single-ply” (Leva, 2012).	27
Figura 3.7 – Aplicação do PVC na cobertura do caso de estudo recorrendo a ar quente.	27
Figura 3.8 – Aplicação de membranas de impermeabilização líquidas (Dewhurst Industrial). ..	28
Figura 3.9 – Aplicação de membranas de impermeabilização líquidas (Cesel - Eclaws).	28
Figura 3.10 – Cobertura com placas de XPS (DOW, 2012).	28
Figura 3.11 – Encaixes das placas de XPS (Saint-Gobain, 2012).	28
Figura 3.12 – Aplicação de placas de isolamento térmico à base de cortiça (Artimestieri Bioedilizia, 2010).	29
Figura 3.13 – Aplicação de aglomerado de cortiça na forma granular (Artimestieri Bioedilizia, 2010).	29
Figura 3.14 – Camada de drenagem com pequenos depósitos (Green Roof Blocks, 2012).	30
Figura 3.15 – Instalação de camadas de poliuretano expandido (The VYDRO Effect, 2010). ..	30
Figura 3.16 – Sistema de rolos pré plantados (Snodgrass & McIntyre, 2010).	31
Figura 3.17 – Plantas desenvolvidas em viveiro para colocação em cobertura verde (Snodgrass & McIntyre, 2010).	31
Figura 3.18 – Suporte estrutural do substrato vegetal (Dunnett & Kingsbury, 2008).	32
Figura 3.19 – Edifício com suporte estrutural para o substrato vegetal (Dunnett & Kingsbury, 2008).	32
Figura 3.20 - Sistema sem isolamento térmico; adaptado de (Safeguardeurope).	33
Figura 3.21 – Sistema de cobertura tradicional; adaptado de (Studentaward-middleeast).	33
Figura 3.22 – Sistema de cobertura invertida; adaptado de (Dcgreenworks).	34
Figura 3.23 – Sistema TF ecológico algibe (Intemper).	35
Figura 3.24 – Sistema modular da greengrid (Green Grid).	36
Figura 3.25 – Sistema pocket habitat da Arup (ARUP).	36
Figura 3.26 – Esquema do suporte estrutural para fachadas verdes; adaptado de (Garden Builders, 2012).	37
Figura 3.27 – Bolsas efetuadas nas mantas absorventes nas Natura Towers, Portugal.	38
Figura 3.28 – Painéis esponjosos instalados na fachada das Natura Towers, Portugal.	38
Figura 3.29 – Sistema de cabos instalados nas Natura Towers, Portugal.	38
Figura 3.30 – Sistema de redes instalados St. Gallen, Suíça (Jakob).	38
Figura 3.31 - Sistema modelar ornamental vertigreen; adaptado de (Zinco, 2012).	39
Figura 3.32 - Projeto de reutilização de garrafas do arquiteto Marcelo Rosenbaum (Rosenbaum, 2012).	40
Figura 3.33 - Edifício em Madrid com estrutura de rede (Uffelen, 2011).	40
Figura 3.34 - Jardim vertical de mantas absorventes em Coimbra (Clorofila).	40

Figura 3.35 - Corte do sistema tubular; adaptado de (Uffelen, 2011).....	41
Figura 4.1 – Condução térmica. Lei e Fourier (Piedade, 2000).....	44
Figura 4.2 - Trocas de calor por convecção (Piedade, 2000).....	45
Figura 4.3 – Esquema das energias: incidente, absorvida, refletida e transmitida (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).....	46
Figura 4.4 - Simplificação para o estudo de transmissão de calor nas coberturas verdes (Arkous, arquitetura e construção).....	46
Figura 4.5 - Corte esquemático da cobertura com membrana betuminosa; adaptado de (Auckland, 1998).	47
Figura 4.6 - Corte esquemático da cobertura verde; adaptado de (Auckland, 1998).....	47
Figura 4.7 - Esquema representativo da localização dos sensores; adaptado de (Auckland, 1998).	47
Figura 4.8 - Temperaturas medidas num dia de verão com céu limpo (Mander & Teemusk, 2009).	48
Figura 4.9 - Temperaturas medidas num dia de verão com céu nublado (Mander & Teemusk, 2009).	48
Figura 4.10 - Temperaturas medidas num dia de outono com céu nublado (Mander & Teemusk, 2009).	48
Figura 4.11 - Temperaturas medidas num dia de inverno com 200 mm de neve sobre a cobertura (Mander & Teemusk, 2009).	48
Figura 4.12 - Legenda de interpretação dos gráficos das figuras 4.8 a 4.11 (Mander & Teemusk, 2009).....	48
Figura 4.13 - Redução da carga de arrefecimento média (%) com uma temperatura interior de 23 °C; adaptado de (Alexandri & Jones, 2008).....	51
Figura 5.1 - Comparação dos escoamentos para duas coberturas (uma sem cobertura verde e uma com cobertura verde); adaptado de (Mentens, Raes, & Hermy, 2006).....	55
Figura 6.1 - Cobertura viva da LPN.....	59
Figura 6.2 – Localização da sede da LPN (Google).	59
Figura 6.3 – Fachada da sede da LPN.	59
Figura 6.4 – Zona inferior da porta de acesso à cobertura.....	60
Figura 6.5 – Pormenor construtivo de um canto da cobertura antes da membrana ser colada. 60	
Figura 6.6 – Zona corrente da cobertura (contorno da parede).....	60
Figura 6.7 – Singularidade da cobertura antes de finalizada (canto).	60
Figura 6.8 – Singularidade da cobertura antes de finalizada (zona do tubo de queda).	60
Figura 6.9 – Singularidade da cobertura antes de finalizada (zona da porta de acesso).	60
Figura 6.10 – Zona inferior da porta de acesso à cobertura (aspecto final).....	61
Figura 6.11 – Zona de contornos da parede (aspecto final).....	61
Figura 6.12 – Zona do tubo de queda (aspecto final).....	61
Figura 6.13 – Canto da cobertura (aspecto final).	61
Figura 6.14 – Placas de isolamento térmico com 10cm de espessura.....	62

Figura 6.15 – Zona adjacente à porta de acesso com placas de 5cm de espessura.....	62
Figura 6.16 – Zona adjacente à porta de acesso com placas de suporte.	62
Figura 6.17 – Cobertura com o isolamento térmico e manta geotêxtil.	62
Figura 6.18 - Aplicação do revestimento na membrana da parede.	63
Figura 6.19 – Ladrilhos na zona adjacente à porta do sótão.	63
Figura 6.20 – Solução de dreno.	63
Figura 6.21 – Instalação do dreno.	63
Figura 6.22 – Instalação dos rolos de espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados. 64	
Figura 6.23 – Marcação do local para futura instalação do sensor de monitorização.....	64
Figura 6.24 – Gráfico ilustrativo da capacidade de retenção da espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados; adaptado de (VYDRO).	64
Figura 6.25 – 2ª equipa a colocar o substrato na cobertura.	64
Figura 6.26 – Material grosseiro na zona de escoamento da cobertura que dirige a água para o dreno.	64
Figura 6.27 – Contenção da cobertura viva na zona adjacente à porta de acesso.....	65
Figura 6.28 – Contenção da cobertura viva na zona adjacente à porta do sótão da LPN.	65
Figura 6.29 – Esquema ilustrativo da cobertura viva da LPN; adaptado de (Construçõesustentavel).	65
Figura 6.30 – Gráfico da temperatura registada do sensor instalado sobre o isolamento térmico (Sensor A, a castanho) e da temperatura atmosférica registada a dois metros de altura do substrato (Sensor B, a cinzento) (Curso Prosperidade Renovável, 2012).	66

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Cidades com regulamentação e/ou legislação específica relativa às coberturas verdes (CMHC, 2006).	19
Tabela 3.1 - Classificação das Coberturas Verdes; adaptado de (IGRA).	23

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Designação
AAJBA	Jardim Botânico da Ajuda
ADENE	Agência para a Energia
APEMIP	Associação dos Profissionais e Empresas de mediação Imobiliária de Portugal
BAF	Biotope Area Factor
BES	Bureau of Environmental Services
BUR	Built-Up Roofing
CCB	Centro Cultural de Belém
CMHC	Canada Mortgage and Housing Corporation
CUE	Conselho da União Europeia
DGNB	German Sustainable Building Council
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
EFVM	Electric Field Vector Mapping
EPA	Environmental Protection Agency
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (The Landscaping and Landscape Development Research Society)
FNUAP	Fundo das Nações Unidas para as População
GNR	Guarda Nacional Republicana
IBI	Instituto Brasileiro de Impermeabilização
IGRA	International Green Roofs Association
IM	Instituto de Meteorologia
INAG	Instituto da Água
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
IST	Instituto Superior Técnico
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LPN	Liga para a Proteção da Natureza
ONU	Organização das Nações Unidas

OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PE	Parlamento Europeu
PNUEA	Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
PVC	Policloreto de Vinilo
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios
RTSCIE	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios
TPO	Thermo-Plastic Olefin
UE	União Europeia
UV	Ultra violeta

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

O termo “megacidades” tem sido vulgarizado, tanto pelos meios de comunicação como em debates da comunidade científica. No relatório do desenvolvimento dos objetivos do milénio de 2007 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2007), prevê-se que em 2030 habitem cerca de cinco mil milhões de pessoas nas cidades (aproximadamente setenta por cento da população mundial atual).

Os edifícios alteram à partida os ecossistemas existentes na sua periferia, o que frequentemente leva à existência de problemas ambientais. Contudo, se as edificações forem integradas na sua envolvente, podem minimizar estes impactos negativos. Uma alteração possível reside em adaptar as propriedades das superfícies dos edifícios (Rowe, et al., 2007). Levanta-se assim uma questão: Será que existe realmente um problema com a concentração populacional nas cidades? De acordo com o relatório de 2007 do FNUAP (United Nations Population Fund, 2007), viver nas grandes cidades proporciona uma melhor qualidade de vida. A razão para tal facto, deve-se à maior proximidade de todas as infraestruturas necessárias para educação, saúde, economia e bem-estar. Torna-se assim essencial dotar os meios urbanos de um equilíbrio saudável entre as pessoas e o meio ambiente. Surge assim o conceito de desenvolvimento sustentável. Vários movimentos a nível internacional têm defendido a necessidade de um desenvolvimento sustentável.

“The Natural Step” (Robèrt, 1992) é uma organização que utiliza uma metáfora denominada de funil. A Figura 1.1 ilustra a procura cada vez maior de recursos provenientes dos ecossistemas (a amarelo) e a incapacidade dos mesmos conseguirem repor as matérias-primas em tempo útil (a azul). Esta metáfora apela a uma alteração dos comportamentos atuais de consumo, de maneira a permitir que o funil se abra, significando que se atingiu um balanço positivo em relação à capacidade regenerativa do nosso planeta.

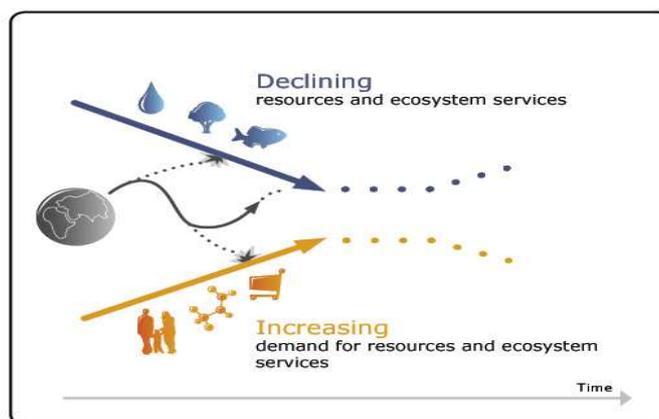


Figura 1.1 - Metáfora do funil (Robèrt, 1992).

Outro movimento bastante relevante é a pegada ecológica (Ecological Footprint, 2005), que indica a área de planeta necessária de acordo com o modo de vida. A Instituição Pegada Ecológica refere a existência de 15,71 hectares disponíveis por pessoa no planeta. A Figura 1.2 indica que em 2005 eram utilizados 23,47 hectares por pessoa. Isto significa que se está a consumir mais recursos do que estão disponíveis.

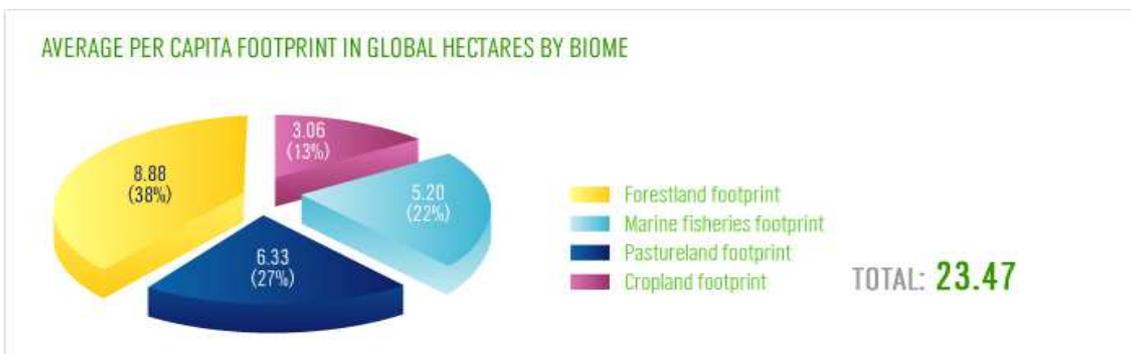


Figura 1.2 - Repartição da pegada ecológica (Ecological Footprint, 2005).

Na Figura 1.3 ilustra-se que o modo de vida atual exige 1,50 dos recursos do Planeta.



Figura 1.3 - Pegada ecológica média atual (Ecological Footprint, 2005).

Em Portugal também existe um movimento interessante, a iniciativa construção sustentável (Construção Sustentável, 2008). Um dos temas que tem sido bastante discutido é o das cidades resilientes (Workshop - Resiliência Urbana, 2012).

O conceito de resiliência surgiu na década de 40 associado a estudos sobre crianças e traumas do foro familiar. Atualmente está difundido por várias áreas de estudo e a engenharia civil não é exceção. Apesar de existirem várias definições do conceito (Resilient City, 2009), é do consenso geral que este, está associado a uma capacidade do sistema se adaptar a um estímulo negativo, sendo este consequente de atividades internas ou externas. Uma forma de melhorar a resiliência das cidades é a introdução de coberturas e/ou fachadas verdes dado que têm maior isolamento sonoro (Lagström, 2004), melhor eficiência energética (Barrio, 1997); (Davison, Beck, Stovin, & Castleton, 2010) e contribuem para a mitigação do efeito ilha de calor (Rowe & Getter, 2006); (Moriyama & Takebayashi, 2006); (Alexandri & Jones, 2008), dos picos de cheia (Teemusk & Mander, 2007) e das concentrações dos gases poluentes (Getter K. L., Rowe, Robertson, Cregg, & Andersen, 2009).

Esta dissertação incide sobre o estudo de coberturas e fachadas verdes, nomeadamente no que respeita ao seu funcionamento no clima mediterrâneo português e em relação à componente térmica e hídrica.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo apresentar em detalhe os seguintes tópicos, particularizando para Portugal:

- 1) Apresentar possíveis tipologias construtivas das coberturas verdes;
- 2) Apresentar possíveis tipologias construtivas das fachadas verdes;
- 3) Perceber o funcionamento da componente térmica nas coberturas e nas fachadas verdes dos edifícios;
- 4) Compreender a influência das coberturas e das fachadas verdes na gestão hídrica das cidades;
- 5) Analisar o caso de estudo - cobertura verde da Liga para a Proteção da Natureza (LPN) na componente térmica.

1.3. Organização do trabalho

Esta dissertação é constituída pelo presente capítulo, cinco capítulos principais e um conclusivo.

O segundo capítulo clarifica inicialmente alguns dos conceitos usualmente ligados aos estudos das coberturas e fachadas verdes. Seguidamente, apresenta uma resumida resenha histórica das coberturas e fachadas verdes e lista a legislação e regulamentação existentes sobre as mesmas.

O terceiro capítulo apresenta e descreve sistemas construtivos das coberturas e fachadas verdes. Neste capítulo indica-se também qual o modo de construir dos sistemas em Portugal, baseado na experiência adquirida junto de técnicos com experiência na área.

O quarto capítulo começa por explicar sucintamente os processos de transmissão de calor e de que modo se aplicam às coberturas e fachadas verdes. Seguidamente, é apresentado um estudo relativo à variação dos ganhos energéticos devido à implementação de cobertura e/ou fachadas verdes.

O quinto capítulo refere de que modo as coberturas e fachadas verdes podem influenciar a gestão hídrica nas cidades, nomeadamente no que concerne ao aproveitamento das águas pluviais.

O sexto capítulo analisa o caso de estudo deste trabalho. Inicialmente descreve-se o processo de construção da cobertura verde na sede da LPN e depois apresenta-se os resultados da monitorização e analisa os resultados obtidos. No final são indicados os problemas associados à implantação das coberturas e fachadas verdes em Portugal (que foram observados no decorrer do caso de estudo) e apresenta soluções que podem ser adotadas para a resolução dos mesmos.

No último capítulo são enfatizadas as principais ideias do trabalho e as conclusões adquiridas com a sua elaboração, as quais permitem obter maior abrangência de conhecimento sobre o tema das coberturas e fachadas verdes e sugerem-se linhas de investigação para seguir no futuro.

2. Conceitos gerais, estado da arte, legislação e regulamentação

2.1. Considerações iniciais

Na pesquisa bibliográfica verificam-se alguns conceitos interligados às coberturas e fachadas verdes. Neste capítulo, pretende-se esclarecer os conceitos que podem gerar dúvidas e de que modos devem ser interpretados quando se desenvolvem estudos nas áreas relacionadas com as coberturas e fachadas verdes.

No subcapítulo do estado da arte, as construções existentes que têm instaladas coberturas e/ou fachadas verdes, em diversos países, representam exemplos passíveis de adaptação a Portugal. Pretende-se apresentar diferentes soluções com relevância a nível internacional, representando estas possibilidades de adaptação ao território português.

No final do capítulo são apresentadas algumas abordagens legais e regulamentares no que respeita às coberturas e fachadas verdes. Deve ser tido em atenção que as leis e regulamentações são diferentes em cada país, e dentro do mesmo, existem diplomas específicos para cada município. Os exemplos apresentados têm como objetivo, informar o que está a ser feito internacionalmente.

2.2. Conceitos gerais

Existe uma grande variedade de vocabulário utilizado no contexto das coberturas e fachadas verdes e que deve ser esclarecido para possibilitar um melhor entendimento do tema. No enquadramento geral (secção 1.1) foram introduzidos alguns conceitos fundamentais (metáfora do funil, pegada ecológica e resiliência). Nos pontos seguintes, esclarece-se quatro tópicos onde podem surgir dúvidas aquando da leitura de estudos relacionados com as coberturas e fachadas verdes.

2.2.1. Coberturas e fachadas verdes

A bibliografia internacional e nacional tem várias terminologias para coberturas verdes. A nomenclatura mais usual é “green roofs” (coberturas verdes). Por vezes, surge também, a palavra “ecorooft” (eco-telhado) associada a coberturas verdes. A terminologia “roof gardens” (coberturas ajardinadas) surge associada a coberturas que possuem um substrato vegetal passível de suportar plantas com alguma dimensão. Outra situação interessante é a de existir um novo termo, “living roofs” (coberturas vivas). Tal facto, deve-se a várias coberturas com substrato vegetal não serem efetivamente verdes podendo ter diversas colorações. Deste modo, existem diversas nomenclaturas que estão associadas às coberturas verdes.

Nas fachadas ocorre situação semelhante. Nomenclaturas como “green walls” (fachadas verdes), “ecowall” (eco-parede), “vertical gardens” (jardins verticais), “façade greening” (fachada verdejante) e “living walls” (fachadas/paredes vivas) são frequentemente referidas na

bibliografia internacional e nacional. Ressalva-se a situação de utilizar o termo de paredes, uma vez que podem ser encontradas paredes interiores revestidas com vegetação. Esta situação de espaços interiores não será abordada neste trabalho dado estar frequentemente associada à estética.

2.2.2. Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade tem estado ligado às temáticas que pretendem criar um modo de vida compatível e adaptável com o meio ambiente, encontrando formas de coexistência com a natureza sem colocar em risco os ecossistemas, no presente e no futuro (IUCN, 1980).

Este conceito encontra-se atualmente bastante enraizado em muitas atividades laborais, de tal forma que a generalidade das empresas, de todas as áreas, tem uma componente, mais ou menos desenvolvida, dedicada exclusivamente a este tema (Dias, 2009). Tal facto pode ser confirmado ao entrar nos sites de grandes empresas internacionais (como a Kraft Foods e a Bechtel) e nacionais (Eletricidade de Portugal – EDP; Corticeira Amorim, entre outros).

2.2.3. Resiliência

Um sistema resiliente permite que ao sofrer um estímulo negativo consiga resistir e continuar a sua atividade, seja ela qual for (Center for Resilience, 2003). Uma forma de compreender a diferença entre sustentabilidade e resiliência é analisar duas cidades (A e B), em que a cidade A importa todos os alimentos do exterior, de fornecedores certificados com políticas sustentáveis, e a cidade B tem uma percentagem elevada de agricultura sustentável urbana. Na ocorrência de uma escassez de alimentos, a cidade A não tem capacidade de adaptação imediata, necessitando de recorrer a mercados externos. A cidade B pode adaptar-se e atenuar a influência dos fatores externos dado possuir capacidade de produção. Apesar de ambas as cidades terem modos de vida sustentáveis, no que concerne aos alimentos, a cidade A possui uma elevada vulnerabilidade a estímulos negativos, enquanto a cidade B está menos exposta. Assim, para alcançar o objetivo da sustentabilidade podem ser tomadas várias medidas, devendo estas ter a capacidade de regeneração e adaptação do meio envolvente, tornando-o resiliente.

2.2.4. Alterações climáticas

A informação sobre esta temática é enfatizada nos meios de comunicação a tal ponto que o conhecimento empírico permite ter noção das alterações climáticas no planeta. O realce deste assunto, não é definir um conceito, pretende-se sim, verificar quais os objetivos que as algumas instituições, a diferentes escalas, definiram para mitigar as alterações climáticas.

À escala internacional, o programa ambiental da ONU (UNEP, 2001) refere que a adaptação, mitigação, redução de gases com efeito de estufa e combate à desflorestação são os caminhos a seguir. A uma escala europeia existem as mesmas prioridades mas com objetivos definidos pela Ação Climática da UE (União Europeia, 2006), que pretende reduzir em 20% os gases com efeito estufa e aumentar as energias renováveis e eficiência energética. Em Portugal

criou-se recentemente a APA (Agência Portuguesa do Ambiente) com a visão de: “Contribuir para o desenvolvimento sustentável de Portugal, assente em elevados padrões de proteção e valorização dos sistemas ambientais e de abordagens integradas das políticas públicas.” (APA, 2008). A eficiência energética e o aproveitamento de águas residuais são duas componentes que se enquadram nos padrões de sustentabilidade das instituições anteriormente referidas.

2.3. Estado da arte

O primeiro passo para uma boa base de trabalho é pesquisar e comparar os exemplos e documentação existentes sobre o tema em estudo. Esta secção tem exatamente esse objetivo, deixando a análise dos benefícios e possíveis problemas térmicos e hídricos para capítulos seguintes.

2.3.1. Coberturas verdes

A incerteza de quando foram realizadas as primeiras coberturas verdes é elevada. Contudo, existe um facto consensual entre vários autores: a primeira construção com coberturas ajardinadas registada foram os jardins suspensos da Babilónia. De acordo com (Uffelen, 2011) os jardins da Babilónia foram construídos por volta de 600 A.C., o que é coerente com vários documentos relativos às sete maravilhas da antiguidade (Cleveleys, 1999); (The museum of unnatural mystery, 2003).

Apesar do registo dos jardins da Babilónia serem referidos em alguns textos antigos como os primeiros, é possível que na península da Escandinávia existissem coberturas verdes anteriormente a estes terem sido construídos. Esta suposição vem de observações empíricas das tradicionais habitações rurais dos países do norte da Europa até ao século XIX. Os “sod roofs” (coberturas relvadas) eram caraterísticos das populações Vikings e a sua utilização estendeu-se até à atualidade. Consistiam em colocar cascas de bétula (tipo de árvore) sobre a cobertura dos edifícios e revestir diretamente com vegetação e substrato. Na secção 2.2.1.1., a Figura 2.8 ilustra um exemplo para melhor perceção.

As coberturas verdes como sistemas construtivos, que interagem diretamente com a resiliência dos meios urbanos, e não apenas como sistemas ornamentais, tiveram início em 1973. Nesse ano foi declarado um embargo do petróleo pelos países árabes a alguns países ocidentais, devido a estes estados apoiarem Israel na guerra contra a Palestina (Merrill, 2007). Esta crise alterou o rumo da produção de energia dado os preços do barril de petróleo terem subido instantaneamente e muitas zonas do mundo ocidental terem mesmo ficado privadas de combustíveis por não existirem reservas suficientes. Nesta conjuntura, foram tomadas medidas para incentivar a produção de energia eólica, hídrica, geotérmica e solar. Apesar do embargo ter sido levantado em 1974, a dependência dos países ocidentais pelo petróleo foi bem visível e a nível estratégico registou-se uma mudança de atitude. Veja-se então que, em 1970 foi iniciado o dia mundial da árvore devido a vários movimentos ambientalistas e a 1 de Janeiro de 1973 foi criado o programa ambiental pelas Nações Unidas. Assim, é perceptível que as

iniciativas globais para a alteração de políticas ambientais tiveram um motivo forte (crise de 1973-1974) para intensificarem a pressão sobre os líderes dos governos afetados pela crise. A partir da década de 1970-1980 a investigação sobre as coberturas verdes cresceu imenso na Alemanha e na Suíça, sendo estas atualmente aplicadas com objetivos variados, conforme se apresenta nos capítulos seguintes.

2.3.1.1. Exemplos internacionais

As estruturas que atualmente possuem coberturas verdes são em pequena quantidade quando comparadas com as que não possuem este tipo de cobertura, mas o seu número tem aumentado significativamente na última década (Green Conduct, 2007). Optou-se por dividir os edifícios em quatro grupos, de acordo com o RTSCIE (Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios) (Decreto-Lei nº 220/2008), (Portaria nº 1532/2008):

- Grupo I – Edifícios industriais, oficinas e armazéns;
- Grupo II – Edifícios administrativos, espetáculos e reuniões públicas, comerciais e gares de transportes;
- Grupo III – Edifícios escolares, hospitalares, lares de idosos, desportivos e de lazer, museus, galerias de arte, bibliotecas e arquivos;
- Grupo IV – Edifícios habitacionais, hoteleiros, restauração e estacionamento.

1) Grupo I



Figura 2.1 - Fábrica da Ford em Darborn (Xero Flor, 2003).



Figura 2.2 – Fábrica de Reciclagem da Veolia (Oslo) (Arkitektkontoret GASA AS, 2008).

No meio industrial existem alguns exemplos de fábricas que utilizam as coberturas com os objetivos de melhorar a eficiência térmica e atenuar os picos de cheia das águas pluviais. Nas Figuras 2.1 e 2.2 verifica-se a instalação de coberturas verdes em ambos os complexos industriais e de acordo com (Greenroofs) e (World Buildings Directory), as mesmas foram instaladas com os objetivos anteriormente indicados.

Um efeito associado às coberturas verdes é a alteração do estereótipo das zonas industriais, que usualmente estão associadas à poluição e a cores em tons de cinzento (coberturas, pavimentos, estrutura...). Deste modo, a biodiversidade e os espaços verdes aumentam nas cidades sem ocupar área ao nível do solo.

2) Grupo II



Figura 2.3 - Complexo de coberturas verdes em Nova Iorque (Greenroofs).



Figura 2.4 - Complexo Potsdamer Platz em Berlim (Potsdamerplatz).

Provavelmente as primeiras coberturas ajardinadas projetadas em cidades, foram o conjunto que se encontra ilustrado na Figura 2.3, datado de 1933-1936. Situa-se em Nova Iorque e tem pouco mais de 7000 m² no total. Na Figura 2.4 apresenta-se o complexo Potsdamer Platz, com uma vasta área de espaços comerciais. A eficiência energética e a recolha, tratamento e reciclagem das águas pluviais são a imagem de sustentabilidade deste complexo. Possui instalações modernas de ventilação que permitem reduções de 50% de gastos energéticos e tem integrado na sua área um lago de 1,3 hectares que possibilita o armazenamento e tratamento das águas pluviais. É considerado um exemplo de reduzido impacto ambiental, tendo demorado 4 anos a ser projetado. Foi o primeiro espaço como quarteirão de uma cidade a receber o certificado de sustentabilidade do DGNB (Sebassetmanagement, 2011).

3) Grupo III



Figura 2.5 - Academia de ciências na Califórnia (Greenroofs).



Figura 2.6 - Museu nacional da guerra no Canadá (TOA Canada).

A Academia de Ciências da Califórnia sediada em São Francisco e ilustrada na Figura 2.5 foi reconstruída em 2008 após um sismo. Deste modo, optou-se por instalar uma cobertura verde com mais de 18000 m². Tem um sistema de monitorização de vários componentes, permitindo que os seus dados sejam extrapolados para outros projetos (California Academy of Sciences). Na Figura 2.6 é possível ver uma perfeita inserção do Museu da Guerra em Otávia, no Canadá, com o meio ambiente circundante. Com aproximadamente 10500 m² foi premiado em 2006, pela sua excelência na sustentabilidade urbana com o prémio GLOBE (GLOBE Awards).

4) Grupo IV



Figura 2.7 - Aldeia olímpica de Vancouver (Thechallengeseries).



Figura 2.8 - Habitações tradicionais dos países escandinavos (Homedit).

É possível adotar coberturas verdes para habitação, desde condomínios de grandes dimensões a moradias unifamiliares. Na Figura 2.7 está ilustrada a aldeia olímpica que foi construída em Vancouver com o objetivo de servir os jogos olímpicos de Inverno que decorreram em 2010. Tem 26500 m² de coberturas verdes e após o evento desportivo procedeu-se à venda das habitações.

Na Figura 2.8 estão ilustradas as tradicionais casas dos países escandinavos, onde as coberturas são frequentemente designadas por “sod roofs”. Na secção 2.1.1. está referenciado que existe a possibilidade destas habitações terem sido as primeiras construções com coberturas verdes, todavia não foram encontrados registos a indicar a datas que comprovem esta afirmação. É possível identificar na Figura 2.8 o substrato vegetal e a estrutura de madeira das habitações que suporta toda a carga. Deve ser tido em consideração que os climas dos países escandinavos têm invernos rigorosos e conseqüente queda de neve, logo toda a estrutura necessita de ter capacidade carga para suportar estas solicitações.

2.3.1.2. Exemplos nacionais

Os exemplos de coberturas verdes em Portugal são em número reduzido. Todavia algumas empresas de instalações de espaços verdes têm vindo a expandir a sua oferta, inserindo a componente de coberturas verdes nas suas exposições como é o caso da NEOTURF.

Importa referir que a generalidade das coberturas verdes instaladas em Portugal tem como objetivo o incremento estético da zona onde estão inseridas. Tal facto significa que as análises de quais os materiais e soluções construtivas a utilizar para melhorar a eficiência energética ou atenuar os picos de cheia não foram tidas em consideração.

No decorrer deste trabalho foram efetuados contactos com várias empresas que possuem instalações com coberturas verdes, todavia só algumas possibilitaram o acesso às mesmas. Seguidamente são apresentadas algumas construções em Portugal que foram visitadas e/ou analisadas em alguns cursos sobre coberturas verdes.

1) Grupo I



Figura 2.9 - ETAR de Alcântara em construção (Lusa, 2011).



Figura 2.10 - ETAR de Alcântara finalizada (Águas de Portugal).

A estação de tratamento de águas residuais de Alcântara está ilustrada na Figura 2.9 (em fase de construção) e na Figura 2.10 (já concluída, 2011). Com 14000 m² é um exemplo de inserção no meio ambiente, permitindo uma continuidade da paisagem de Monsanto. O próximo objetivo da empresa SimTejo, proprietária da ETAR, é utilizar a água tratada na estação para rega da própria cobertura. A visita e análise desta construção decorreu no âmbito do (Curso Prosperidade Renovável, 2011).

2) Grupo II



Figura 2.11 - Vista aérea do CCB (Centro Cultural de Belém).



Figura 2.12 - Jardim das oliveiras no CCB (Centro Cultural de Belém).

O Centro Cultural de Belém, na Figura 2.11, é da autoria do arquiteto Manuel Salgado, que concebeu uma cobertura verde (jardim das oliveiras, Figura 2.12) voltada para o rio Tejo. Não existem referências relativas a incrementação de eficiência energética nem de aproveitamento de águas pluviais, indicando que o objetivo do jardim das oliveiras é aumentar o valor estético e o bem-estar dos visitantes.

Este espaço encontra-se acessível ao público, logo foi possível efetuar visitas sem restrições que carecessem de autorizações específicas.

3) Grupo III



Figura 2.13 - Vista aérea da cobertura verde adjacente ao museu da fundação Calouste Gulbenkian (Google).



Figura 2.14 - Vista lateral do museu da fundação Calouste Gulbenkian (Gulbenkian).

As instalações da fundação Gulbenkian, identificadas na Figura 2.13 e inauguradas em 1969, foram projetadas pelos arquitetos Ruy Athouguia, Pedro Cid e Alberto Pessoa. Integram, para além das áreas reservadas à administração e aos serviços, um auditório, espaços para exposições temporárias, uma zona de congressos, e um edifício próprio que alberga o museu Gulbenkian (Figura 2.14), os serviços educativos e a biblioteca de arte. O complexo contém um parque, projetado pelos arquitetos Viana Barreto e Ribeiro Telles. A fundação Calouste Gulbenkian é a obra de relevo mais antiga ao nível das coberturas verdes em Portugal.

4) Grupo IV



Figura 2.15 - Cobertura extensiva de sedum numa habitação particular em Vila Nova de Gaia (NEOTURF).



Figura 2.16 - Garagem coberta de vegetação em Cascais (Clorofila).

As habitações unifamiliares permitem uma maior liberdade de conceção devido ao dono de obra ter total controlo sobre o que pretende. Todavia, os custos das coberturas verdes são usualmente mais elevados para edifícios mais pequenos. Na Figura 2.15 é possível ver a integração da cobertura verde com sistemas de aproveitamento de energia solar. Na Figura 2.16 as garagens para estacionamento encontram-se cobertas por vegetação. Este caso apresenta-se complexo devido tanto ao sistema de rega como ao sistema de drenagem das águas pluviais. A manutenção e limpeza deverão ser tidas em conta logo no projeto, de modo a possibilitar o bom funcionamento de todos os sistemas (drenagem de águas pluviais e rega).

2.3.2. Fachadas verdes

O uso de plantas trepadeiras era utilizado já no Império Romano, no cultivo das vinhas, mas foi Patrick Blanc quem introduziu o conceito do solo ser exclusivamente um suporte mecânico para a vegetação (Blanc). Com formação base em botânica criou um novo conceito desde a sua juventude – jardins verticais. Em 1988 e 1996 viria a patentear esta nova tipologia, que já tem alguns exemplos de relevo em vários países.

Atualmente existem várias empresas em todo o mundo que se especializaram em diversas áreas das fachadas verdes e como seguidamente será apresentado, encontram-se em todo o tipo de edifícios.

2.3.2.1. Exemplos internacionais

A divisão em quatro grupos adotada para as coberturas verdes será utilizada também neste capítulo para ilustrar os exemplos.

1) Grupo I



Figura 2.17 – “Data center” na Malásia (Latif, 2011).



Figura 2.18 - Protótipo da quinta vertical (Graff).

A Figura 2.17 refere-se a um “data center” construído em Shah Alam, Malásia, que apresenta um jardim vertical colocado sobre a fachada do edifício.

A Figura 2.18 apresenta um protótipo de quinta vertical. A escolha para ilustrar este protótipo, concebido pelo arquiteto Gordon Graff, reside no facto de ser uma perspetiva futurista num tema ainda recente (as fachadas verdes). De acordo com (Peck, 2012) a agricultura urbana é uma realidade no Canadá. Se comunidade já estiver habituada ao conceito de agricultura urbana, é provável que caso se evolua para estes tipos de estruturas, as primeiras surjam em metrópoles que socialmente as aceitem.

2) Grupo II



Figura 2.19 – Complexo Acros Fukuoka, Japão (Uffelen, 2011).



Figura 2.20 – Complexo Consorcio Santiago, Chile (Uffelen, 2011).

A fachada verde da Figura 2.19 está voltada a norte, envolvendo a entrada principal do complexo constituído na sua maioria por escritórios. Trata-se de coberturas verdes e jardins verticais combinados ao longo de toda a altura do edifício. Encontra-se em Fukuoka, Japão e foi construído em 1995. A área total coberta por vegetação é superior a 100000 m².

Na Figura 2.20 é possível ver-se o efeito entre um edifício com jardins verticais (à direita) e outro sem jardins (à esquerda) durante a noite. Trata-se do consorcio de seguros em Santiago, Chile. Construído em 1993, tem o sistema de suporte das plantas afastado da fachada do edifício, proporcionando uma ventilação ascendente que facilita o arrefecimento do edifício.

3) Grupo III



Figura 2.21 - Hospital universitário em Bruxelas, Bélgica (Uffelen, 2011).



Figura 2.22 - Museu do Quai Branly em Paris, França (Uffelen, 2011).

Na Figura 2.21 apresenta-se o hospital universitário da Academisch Ziekenhuis em Bruxelas, Bélgica. Esta parte do hospital, foi construída em 2007, que contém os laboratórios no seu interior. A utilização de fachadas verdes teve como objetivo, criar uma envolvente estética mais apelativa do que a tradicional cobertura plana. Deste modo a solução de colocar plantas intercaladas com as janelas, permite o aproveitamento da luz natural e promove uma vista diferente do usual.

Na Figura 2.22 está ilustrado o museu de Quai Brandly que tem aproximadamente 800 m² de jardins verticais. Situado próximo da Torre Eiffel, (Paris, França), é da autoria de Patrick Blanc e tem mais de quinze mil espécies de plantas, estando aberto ao público desde 2006.

4) Grupo IV



Figura 2.23 - Postes ajardinados em Nova Iorque, USA (Uffelen, 2011).



Figura 2.24 - Moradia unifamiliar em Bruxelas, Bélgica (Uffelen, 2011).

O mercado de jardins verticais tem estado em constante atualização e investigação. Na Figura 2.23 ilustra-se secções tubulares enquadradas nos cantos de uma vedação, da autoria de Michele Brody. Encontra-se em Nova Iorque e teve a sua primeira implementação em 2008. No capítulo 3, referente aos sistemas construtivos, esta técnica será analisada mais detalhadamente.

Na Figura 2.24 apresenta-se uma moradia individual que tem as fachadas norte, este e oeste com jardins verticais, assim como a cobertura. A fachada sul tem envidraçados que permitem aproveitar toda a luz solar. Este projeto é da autoria de Patrick Blanc, foi concluído em 2007 e situa-se em Bruxelas, Bélgica.

2.3.2.2. Exemplos nacionais

Em Portugal, ainda não existem empresas especializadas exclusivamente em fachadas verdes, dada a reduzida procura por este tipo de soluções. Como tal, o objetivo fundamental das soluções apresentadas é o incremento estético.

Existem poucos exemplos de relevo no território nacional, sendo a maior percentagem de pequenas dimensões e efetuado por empresas que têm como atividade principal a instalação e manutenção de espaços verdes.

1) Grupo I

Até à data de conclusão desta dissertação ainda não foi encontrado nenhum exemplo que se enquadre nos edifícios deste grupo.

2) Grupo II



Figura 2.25 – Pátio entre as Natura Towers, em Lisboa (Clorofila, 2011).



Figura 2.26 - Simulação noturna das Natura Towers, em Lisboa (Lojas).

As Natura Towers são o único exemplo, de fachadas verdes, com relevo internacional presente em Portugal (Uffelen, 2011). Sede da MSF, desde o projeto que contemplam um pátio rodeado de jardins verticais, Figura 2.25, zonas com instalação de fachadas verdes e trepadeiras ao longo de toda a altura dos edifícios. À noite, se as torres tiverem a iluminação interior ligada, o efeito será o que está ilustrado na Figura 2.26, onde são visíveis as trepadeiras em várias zonas dos envidraçados. É também de salientar que na cobertura existe um sistema de reservatório e aproveitamento de águas pluviais, permitindo melhor eficiência hídrica.

3) Grupo III



Figura 2.27 – Zona lateral da fachada verde localizada no Dolce Vita Tejo.



Figura 2.28 – Zona frontal da fachada verde localizada no Dolce Vita Tejo.

O centro comercial Dolce Vita Tejo, possui um espaço central que tem frequentemente exposições, eventos desportivos, como ringues de patinagem no gelo durante o inverno e insufláveis para as crianças. O revestimento de parte desta zona tem fachadas verdes da autoria de Patrick Blanc (Figuras 2.27 e 2.28). Estas, têm meramente uma componente estética e permitem tornar o espaço mais apelativo ao lazer e bem-estar. É importante ressaltar que está apenas a ser caracterizada a zona do centro comercial onde existem fachadas verdes do edifício e como tal, a inserção desse espaço neste grupo de edifícios.

4) Grupo IV



Figura 2.29 - Condomínio privado em Coimbra (Clorofila, 2011).



Figura 2.30 - Moradia particular em Coimbra (Clorofila, 2011).

Nas Figuras 2.29 e 2.30 estão representadas dois exemplos do que pode ser encontrado em habitações particulares. A empresa Clorofila, sediada em Coimbra, utiliza um sistema de instalação de fachadas verdes recorrendo a mantas absorventes com bolsas. Este sistema será abordado e explicado no capítulo 3. – Sistemas construtivos.

2.4. Legislação e regulamentação

Nos exemplos indicados anteriormente, verificou-se que as coberturas e fachadas verdes podem ser utilizadas com diferentes objetivos, como seja incremento de valor estético e de bem-estar, melhoria da eficiência energética, captação e reutilização das águas pluviais e sumidouros de gases poluentes. É importante escolher o objetivo que se pretende e consultar a legislação e regulamentação apropriadas. Neste campo, a IGRA (International Green Roofs Association) tem distribuído informação e referenciado factos em conferências e congressos pelo mundo, através de junção de especialistas de diferentes áreas. Tem-se verificado que os objetivos das coberturas e fachadas verdes têm influenciado a criação e implementação da legislação e regulamentação. Exemplo desta situação são cidades que pretendem atenuar picos de cheia, criam normas específicas para as coberturas verdes (como Portland) e noutras cidades em que o objetivo principal é a eficiência energética, a regulamentação é diferente.

Em suma, o modo como tem evoluído a legislação e regulamentação nesta área é complexo. Segundo um estudo canadiano (CMHC, 2006) a evolução do desenvolvimento das políticas e programas relativos às coberturas verdes é dividida em seis fases, indicadas na Figura 2.31 (este estudo pode também aplicar-se às fachadas verdes).

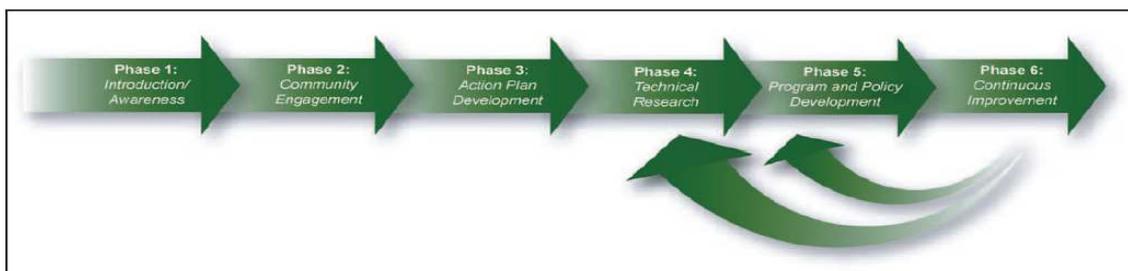


Figura 2.31 - Evolução das políticas das coberturas verdes; adaptado de (CMHC, 2006).

Atualmente existem países em diferentes fases pelo que, se considera relevante fazer alguns comentários para melhor compreensão do esquema apresentado.

- 1) A primeira fase designa-se de introdução e caracteriza-se pela realização de ações de divulgação e sensibilização, como workshops e seminários sobre as coberturas verdes.
- 2) A segunda fase caracteriza-se pela formação de grupos que procuram junto dos governantes promover as coberturas verdes. Para tal avaliam-se as vantagens e desvantagens da zona para futura implantação das coberturas verdes (a zona pode ir desde pequenas cidades a países).
- 3) Na terceira fase procede-se à criação de grupos de trabalho que elaboram estudos aprofundados, podendo construir-se coberturas modelo para demonstração. É analisada a legislação existente e estudados modos de inserir as coberturas verdes.
- 4) A quarta fase tem uma particularidade, dá-se o início da quantificação dos benefícios das coberturas verdes e cria-se documentação técnica específica. Nesta fase, usualmente existem algumas coberturas verdes monitorizadas na área em estudo e divulgam-se os resultados em conferências e congressos.
- 5) A quinta fase é entendida como a expansão das coberturas verdes. A legislação e regulamentação são adaptadas e os especialistas trabalham em conjunto com os construtores para melhorar as soluções. Nesta fase, estão estabelecidos os benefícios das coberturas verdes para a zona, recorrendo-se frequentemente a incentivos fiscais.
- 6) Na sexta fase otimizam-se as políticas, incentivos e legislação referentes às coberturas verdes. Novos estudos são analisados de modo a melhorar o sistema jurídico.

A sexta fase é caracterizada por ser possível retroceder até à quarta fase, para estudar alternativas à legislação vigente. Enfatiza-se a necessidade de se consultarem especialistas de diversas áreas, em todo o processo. As áreas da engenharia civil para a conceção do edifício são essenciais, uma equipa de arquitetos e paisagistas também são necessárias, tal como os botânicos para a implementação e manutenção da área vegetal. Os engenheiros da área de mecânica, eletrotécnica e informática também têm uma palavra a dizer, dependendo dos sistemas eletrónicos utilizados (monitorização, ventilação para as fachadas, sistemas autónomos de rega). As empresas construtoras devem ser colocadas como intervenientes iniciais nesta área, uma vez que os sistemas construtivos têm diferenças consideráveis entre si, que provocam alterações em todo o projeto.

Nesta secção serão referidos alguns exemplos de legislação e regulamentação existentes a nível internacional. A nível nacional não existe legislação nem regulamentação específicas sobre coberturas e fachadas verdes até à data de conclusão desta dissertação pelo que, a consulta e análise de diplomas existentes noutros países deve ser uma prioridade.

2.4.1. Cidades com legislação e regulamentação específica de coberturas e fachadas verdes

A primeira regulamentação existente teve origem na Alemanha na década de 1980-1990 (Ngan, 2004). Na Alemanha, a FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) tem publicado guias para a compreensão das coberturas verdes. Esses guias são atualizados e melhorados desde a sua gênese e servem de base para muitos outros países. Nos EUA (Estados Unidos da América) e no Canadá, existe a certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) para os edifícios, que pretende avaliar os edifícios estipulando parâmetros para contabilizar a sustentabilidade, eficiência hídrica e energética, tipos de materiais utilizados, entre outros (Snodgrass & McIntyre, 2010). A certificação consiste em atribuir pontos e quanto mais elevada for a pontuação mais elevado é o grau da certificação (que pode ser grau prata, ouro ou platina). Os edifícios com coberturas e fachadas verdes conseguem usualmente as melhores certificações (Freed, et al., 2008).

Atualmente, várias cidades dispõem de legislação que obriga à instalação de coberturas verdes, como é o caso de Portland. Todavia, os diplomas legais não contemplam os sistemas construtivos e na generalidade dos municípios não indicam quaisquer materiais, tipologias e/ou plantas apropriadas ao local. Estes, são usualmente regulamentados em documentos técnicos provenientes de gabinetes especializados nos municípios. Em suma, a legislação existente força, em alguns casos, à construção de coberturas verdes mas deixa todo o processo de instalação ao critério de cada construtor e dono de obra.

Na Tabela 2.1 estão identificados exemplos de cidades que possuem, a nível municipal, meios legais e regulamentares para incentivar e controlar a construção de coberturas e fachadas verdes.

Tabela 2.1 - Cidades com regulamentação e/ou legislação específica relativa às coberturas verdes (CMHC, 2006).

Canada	United States	International
Montréal	Chicago, Ill.	Basel-City, Switzerland
Toronto	New York	Münster, Germany
Vancouver	Portland, Ore.	Singapore
Waterloo	Minneapolis-	Stuttgart, Germany
Calgary	St. Paul, Minn.	Tokyo, Japan
Halifax	Pittsburgh, Penn.	Berlin, Germany
Ottawa	Seattle, Wash.	London, U. K.
Winnipeg	Washington, D. C. and	North-Rhine, Westphalia,
Québec City	Chesapeake Bay area	Germany

As cidades apresentadas na Tabela 2.1 não estão todas na mesma fase de desenvolvimento regulamentar. As cidades alemãs estão todas consideradas na sexta fase. Já cidades como Chicago, Portland e Singapura estão na quinta fase. No Canadá, Toronto, Vancouver e Montréal são as mais avançadas, estando classificadas como quarta fase (CMHC, 2006).

2.4.2. Exemplos piloto

A nomenclatura exemplos piloto é aplicada às primeiras cidades que desenvolveram legislação e regulamentação para as coberturas verdes. Estas cidades serviram de exemplo para outros países e através de adaptações, alargaram-se as políticas eficazes a outras cidades e menosprezaram-se as que não resultaram. Não é possível analisar todas as cidades pelo que foram escolhidas três tendo em vista dois critérios:

- Influência da cidade para o país em questão;
- Acesso à legislação e regulamentação da cidade.

As cidades escolhidas foram Berlim, Toronto e Portland.

- Berlim devido à Alemanha ter sido o primeiro país a ter legislação específica para o tema;
- Toronto, por ter sido a cidade canadiana escolhida pelo próprio país, como exemplo piloto;
- Portland, por ter legislação específica, dirigida para a atenuação de picos de cheia na cidade, utilizando as coberturas verdes.

2.4.2.1. Berlim – Alemanha

- Motivos da implementação

Berlim está ligada aos movimentos ambientalistas que começaram a ter grande impacto a partir de 1970. Segundo (Cloos) as campanhas eleitorais da época, passaram a referir frequentemente os tópicos da conservação da natureza e da proteção ambiental. Na conjuntura da cidade era essencial preservar a natureza, os espaços verdes e consequentemente a qualidade de vida dos residentes. Foi deste modo que surgiram as primeiras coberturas verdes em Berlim.

- Política de incentivos

Berlim foi a primeira cidade a implementar a conservação da natureza no planeamento (Senate Department for Urban Development and the Environment). Para tal promoveu incentivos monetários que permitiram a construção de várias coberturas verdes, tendo o apoio da “Technical University of Berlin” nos estudos ecológicos do impacto das mesmas. Outra medida que existente é a cobrança de uma taxa sobre o escoamento das águas pluviais para a rede pública. Trata-se de um incentivo indireto para a construção de coberturas verdes ou instalações de reaproveitamento de águas pluviais, uma vez que, se o proprietário evitar o escoamento não paga a taxa.

- Legislação e regulamentação

A implementação da BAF (Biotope Area Factor) foi a base para estabelecer regulamentos na cidade de Berlim. A BAF é a relação entre a parcela efetiva de superfície ecológica e a área total (Bauen & Richard, 1990). O que está regulamentado são os valores de BAF que têm de ser respeitados dependendo do que se pretende construir. Com a criação da “Federal Nature Conservation Act” passou a estar legislada a nível nacional a relação do meio ambiente com a atividade da construção civil. Esta lei permite exceções em locais que estejam identificados com planos de desenvolvimento e exige que os organismos de proteção ambiental sejam informados para algumas situações. O documento que permite a análise de cada área da cidade é o plano de ordenamento. A cidade de Berlim possui um plano bastante completo que identifica as perspetivas de desenvolvimento assim como os pontos fundamentais de expansão, locais previstos para habitação, modificações ao plano antecedente, entre outros (Development, 2009).

2.4.2.2. Toronto – Canadá

- Motivos da implementação

Toronto teve uma abordagem bastante sistemática no que concerne às coberturas verdes (Toronto.ca). Após ter financiado estudos à universidade de Ryerson e a centros de investigação do estado de Ontário, os governantes da cidade definiram que a atenuação dos picos de cheia, mitigação do efeito ilha de calor e a introdução de espaços verdes eram os motivos principais para avançar com políticas de incentivo à construção de coberturas verdes (Banting, et al., 2005).

- Política de incentivos

“Making Green Roofs Happen” foi o título escolhido pela cidade de Toronto para o documento que a 2 de Fevereiro de 2006 passou a definir as políticas de incentivo para as coberturas verdes (Policy and Finance Committee, 2006). No seu conteúdo define os incentivos monetários para quem construir coberturas verdes nos edifícios da cidade, programas de publicidade e educação junto da população sobre o tema e implementação desta tipologia nas coberturas dos edifícios públicos para promover a iniciativa.

- Legislação e regulamentação

Em 9 de Maio de 2009 foi aprovada a alteração ao código da construção do estado de Ontário onde refere a obrigação de a partir de 31 de Janeiro de 2010 todos os edifícios com uma cobertura superior a 2000 m² estarem obrigados a reservar parte da área para cobertura verde. Todo o processo de construção, alteração ou falta de manutenção de coberturas verdes têm de ser autorizados e estão restringidos a regras específicas enunciadas em (Toronto Council, 2009).

2.4.2.3. Portland – EUA

- Motivos da implementação

Em 1994, Portland foi notificada que deveria cumprir o “Clear Water Act” emitido pela EPA (Environmental Protection Agency), tendo em vista a limpeza do rio Willamette numa perspetiva a longo prazo (Portlandonline). O problema da cidade reside no sistema de coletores de águas residuais ser unitário e dificultar o tratamento dos escoamentos que são lançados no rio. Deste modo foram estudadas várias medidas para aproveitar ou escoar as águas pluviais fora do sistema unitário e implementadas no (City Council, 2008). Um dos pontos referidos são os “ecoroofs” ou “green roofs” que retêm aproximadamente 60% da precipitação que cai na sua área (City Council, 2005).

- Política de incentivos

Os incentivos da cidade de Portland são variados e diversificados. Um tipo de incentivo reside em janelas de oportunidade temporais para a construção de coberturas verdes. De acordo com a área implementada e a localização da mesma, é disponibilizada uma verba específica. A taxa de gestão de águas residuais também sofre uma redução se o edifício tiver cobertura verde.

- Legislação e regulamentação

Estudos efetuados pelo BES (Bureau of Environmental Services) levaram à criação da “City of Portland Green Building Policy” onde refere a implementação de “ecoroofs” em 70% das coberturas para edifícios públicos (City Council, 2005). O BES tem um manual de boas práticas (Environmental Services, 2009) e um departamento próprio para a aprovação, acompanhamento e manutenção das coberturas verdes. Um facto interessante é o dono de obra ter de assinar um acordo em que se compromete na manutenção da cobertura consoante a zona da cidade em que esta se encontra inserida.

2.5. Considerações finais

A pesquisa bibliográfica sobre coberturas e fachadas verdes encontra-se aliada a conceitos que atualmente estão vulgarizados como a sustentabilidade e resiliência. Desta forma, é importante esclarecer os conceitos para compreender a sua ligação com as coberturas e fachadas verdes. A história e a atualidade do tema é mais facilmente percebida se enquadrada com exemplos edificados, como tal o subcapítulo do estado da arte pretendeu responder a este ponto ilustrando diversas soluções adotadas a nível internacional e nacional.

A análise à legislação e regulamentação permitiu identificar os faseamentos que os países mais desenvolvidos na implantação de coberturas e fachadas verdes utilizaram. As soluções regulamentares podem ser extrapoladas de local para local mas a sua adaptabilidade e constante aperfeiçoamento são pontos importantes para o sucesso da implantação das coberturas e fachadas verdes.

3. Sistemas construtivos

3.1. Considerações iniciais

Este capítulo divide-se em duas secções, uma referente às coberturas verdes e outra às fachadas verdes. Em cada secção estão indicadas as classificações utilizadas atualmente para caracterizar as diferentes possibilidades existentes, as componentes constituintes das coberturas e fachadas verdes, algumas considerações específicas a ter em conta e por fim as tipologias construtivas que se encontram mais divulgadas no mercado.

3.2. Coberturas verdes

3.2.1. Classificação

A variabilidade de opções que podem ser adotadas numa cobertura verde é elevada. A profundidade do substrato, o tipo de utilização, a rega, a manutenção, o tipo de plantas utilizado, o custo, são alguns dos fatores que é necessário analisar em projeto. Dado a diversidade de alternativas, é usual dividir as coberturas verdes em três grupos conforme mostra na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação das Coberturas Verdes; adaptado de (IGRA).

	Classificação		
	Extensiva	Semi-Intensiva	Intensiva
Manutenção	Baixa	Média	Elevada
Rega	Baixa	Periódica	Regular
Plantas	Musgo, Sedum, Herbáceas	Arbustos, Herbáceas	Relvado, Arbustos, Árvores
Profundidade do Substrato (mm)	60-200	120-250	>150
Peso (kg/m ²)	60-150	120-200	>180
Custo	Baixo	Médio	Elevado
Utilização	Proteção, Funções Ecológicas	Biodiversidade	Lazer/Convívio

Os sistemas de coberturas verdes podem ainda ser repartidos em acessíveis e inacessíveis. As coberturas verdes acessíveis são comparadas a um jardim no terraço, onde podem ser desenvolvidas atividades de lazer. Como tal, nesta situação é essencial ter cuidados específicos como implementação de caminhos, bancos, sistemas de proteção e iluminação. Uma cobertura inacessível só é visitada para inspeções periódicas, feita por técnicos especializados, pelo que dispensa a maioria dos cuidados anteriormente referidos.

3.2.2. Componentes do sistema

A cobertura verde contém alguns componentes comuns a todas as classificações (extensivas, semi-intensivas e intensivas), tais como ilustra a Figura 3.1:

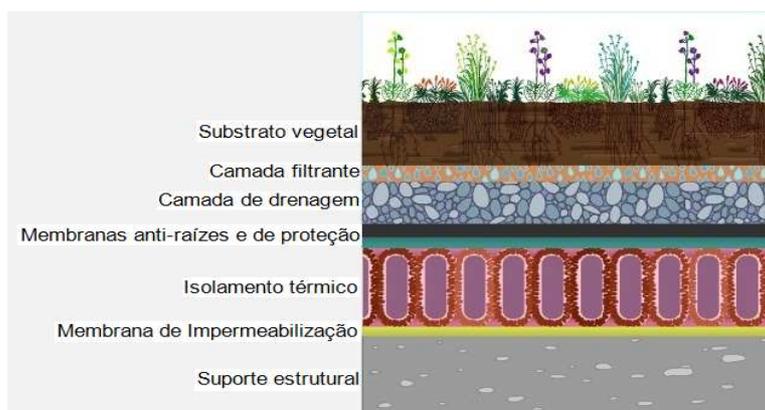


Figura 3.1 – Componentes das coberturas verdes; adaptado de (Ferraz & Forte, 2010).

Seguidamente enumeram-se e descrevem-se sucintamente cada um dos diferentes componentes (Dunnett & Kingsbury, 2008).

3.2.2.1. Suporte estrutural

A capacidade de carga do suporte estrutural, influencia a escolha da cobertura verde. Esta limitação tem maior relevo quando se trata de um edifício existente, uma vez que as cargas na cobertura não contemplam a adição do substrato vegetal nem a sobrecarga da acumulação das águas (provenientes da rega ou da pluviosidade). Nos edifícios novos é possível que, aquando da realização do projeto, toda a estrutura seja dimensionada tendo em conta o acréscimo das cargas associadas à cobertura verde, assim como as sobrecargas resultantes dos equipamentos associados à própria construção. Deste modo, os edifícios novos apresentam reduzidas restrições, no âmbito estrutural.

O engenheiro civil é o responsável por esta componente. Todavia, é desejável que todos os especialistas trabalhem em conjunto antes de se iniciar o projeto de cada especialidade. Este facto permite esclarecer algumas questões relevantes, como por exemplo:

- Definir as acessibilidades para a cobertura – Este fator é importante tanto na fase de construção como em toda a vida útil da estrutura. A necessidade de transportar materiais de jardinagem deve ser contemplada mesmo para as coberturas verdes menos exigentes. Deste modo, a utilização de escadas não é adequada, devendo ser dada preferência ao elevador até à cobertura.
- Definir os traçados do sistema de rega - Este deve ter os acessos definidos assim como a definição da existência ou não de depósito de águas ou não, e a sua localização. As tubagens que atravessam a laje de cobertura necessitam de estar bem identificadas para a utilização de negativos (se o material estrutural for o betão armado). Deste modo evita-se a posterior furação, que leva a atrasos na construção e incrementos significativos de problemas de na impermeabilização.

- Compatibilidade dos materiais e dos métodos de instalação da membrana de impermeabilização – O betão armado é resistente e na generalidade dos casos é compatível com os métodos de instalação da membrana de impermeabilização. Os trabalhos necessários resumem-se na generalidade, à regularização de modo a evitar que pontos angulosos de betão furem a membrana de impermeabilização. Contudo, existem habitações com madeira ou o aço na constituição do suporte estrutural da cobertura. Nestes casos devem ser analisados os impactos dos métodos utilizados para a aplicação dos materiais de impermeabilização. Por exemplo, as telas asfálticas são usualmente aplicadas com recurso a maçaricos, o que pode danificar as estruturas de madeira e aço devido às temperaturas. As reações químicas que durante a vida da estrutura ocorrem também podem prejudicar ambos os materiais.
- Implementação de estruturas de proteção na envolvente – As coberturas acessíveis são passíveis de terem pessoas, logo devem ser contempladas estruturas de proteção na envolvente de modo a evitar acidentes com quedas. A integração dos sistemas de proteção com a estrutura do edifício deve ser considerada na fase inicial do projeto. Algumas soluções possíveis são a utilização de muretes de betão armado (Figura 3.2) e instalação de vedações metálicas (Figura 3.3).



Figura 3.2 – Murete verde envolvente na cobertura do Phillips Eco-Enterprise Centre, Minneapolis, EUA (Dunnett & Kingsbury, 2008).



Figura 3.3 – Vedação metálica na envolvente da cobertura do Moorgate Crofts Business Centre, Rotherham, Reino Unido (Dunnett & Kingsbury, 2008).

3.2.2.2. Membrana de impermeabilização

“A primeira função de qualquer cobertura, verde ou tradicional, é manter a água no exterior do edifício. A impermeabilização é um tópico vasto e complexo que não temos nem o espaço nem a especialização para discutir em detalhe.” traduzido de: (Snodgrass & McIntyre, 2010). A frase anterior indica a função principal da cobertura. Refere também que a impermeabilização é uma área de estudo complexa e vasta. A solução apresentada que reduz a probabilidade de ocorrência de falhas, ao nível da instalação da membrana de impermeabilização, passa pela existência de três processos:

- Realização do projeto de impermeabilização individualizado – A impermeabilização fica a cargo das empresas instaladoras. Na generalidade das situações não existe projetos específicos de impermeabilização, o que dificulta a correta instalação.

As repercussões são a existência de remendos e adaptações feitas no local pelos instaladores. Importa referir que a probabilidade de ocorrência de erros é aumentada quando se efetua um remendo. A elaboração de um projeto de especialidade específico para impermeabilização é uma realidade no Brasil. De acordo com Nelma Cristina Alves, (formada em engenharia civil é atualmente Vice-Presidente IBI) o projeto de impermeabilização deve ser executado ao mesmo tempo que os restantes (arquitetónico, estrutural e de instalações) de modo a evitar problemas futuros de incompatibilidades das diferentes especialidades (AECweb); (Porciúncula).

- Realização de ensaios de estanquidade – A fiabilidade da empresa construtora na impermeabilização pode ser confirmada com a realização de ensaios de estanquidade. O ensaio consiste em vedar todos os pontos de escoamento (drenos, descarregadores, orifícios para tubagens) e colocar sobre a impermeabilização, uma lâmina de cinco a dez centímetros de água. Setenta e duas horas depois, verifica-se a altura da lâmina de água e tem-se a confirmação da existência ou não de fugas (Seródio & Paulo, 2010). A execução do ensaio é relativamente fácil de executar, prevenindo problemas futuros e permitindo resolver eventuais falhas na instalação.
- Instalação de sistemas de monitorização de fugas – Os projetos mais onerosos e complexos podem implicar uma constante monitorização da membrana de impermeabilização. Para tal, existe o sistema EFVM (Electric Field Vector Mapping), no qual, a condutividade elétrica da água é utilizada para localizar com precisão todas as fugas existentes (Snodgrass & McIntyre, 2010). O EFVM consiste em aplicar uma corrente elétrica na superfície da membrana de impermeabilização e localizar os pontos onde existem perturbações no campo elétrico. Para tanto, são instalados fios no perímetro da cobertura ou aplica-se uma folha própria de alumínio sobre a membrana de impermeabilização. Deve humedecer-se toda a zona a analisar antes de se iniciar o teste. Posteriormente, liga-se o sistema e analisa-se os resultados e repara-se os eventuais pontos de fuga. O sistema pode ficar instalado na cobertura ou ser retirado após se ter verificado a estanquidade da membrana de impermeabilização. Atualmente existem aparelhos portáteis que podem ser utilizados em coberturas com áreas reduzidas. O museu Grohmann, sediado em Milwaukee tem um espaço de restauração na cobertura que utilizou este sistema. Inicialmente não apresentou nenhuma fuga, então procedeu-se a um rasgo e o operador necessitou de apenas cinco minutos para a localizar (ILD, 2008).

As empresas especializadas em impermeabilizações desenvolvem os próprios produtos e as técnicas de instalação associadas. Deste modo, é inviável enumerar todos os materiais existentes no mercado. Assim, no que concerne aos materiais utilizados nas membranas de impermeabilização, é preferível dividi-los de acordo com os três sistemas de instalação utilizados:

- Sistema BUR (Built-Up Roofing) – A instalação deste sistema consiste na aplicação de membranas betuminosas (Figura 3.4) ou em colocar entre três a cinco camadas alternadas de telas de feltro entre o betume aplicado a quente (Figura 3.5). Atualmente existem betumes modificados e polímeros que possibilitam a aplicação a frio. O BUR consiste na instalação “*in situ*”, logo não tem juntas e adapta-se às singularidades encontradas nas coberturas (Feiteira, 2009).



Figura 3.4 – Aplicação das membranas betuminosas a quente (WMroofing, 2009).

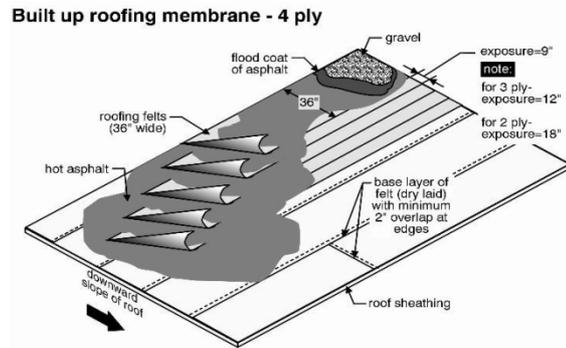


Figura 3.5 – Esquema ilustrativo das camadas aplicadas de feltro e betume (Carson Dunlop Associates, 2009).

- Sistemas de membranas “single-ply” – As membranas utilizadas nestes sistemas são, na generalidade, fabricadas em PVC (Policloreto de Vinilo), borracha ou de poliolefina termoplástica. Estes materiais são transportados em rolos que se aplicam sobre a cobertura como indica a Figura 3.6. Necessitam de ter juntas que são unidas por meio de técnicas de colagem com recurso a ar quente (Figura 3.7) ou resinas. Nas zonas onde é necessário a existência de emendas (como os cantos e os tubos de queda) devem ser utilizadas peças apropriadas de junção. Estas são do mesmo material a aplicar, mas possuem fibras resistentes à tração no seu interior, reforçando os pontos sensíveis (Snodgrass & McIntyre, 2010).



Figura 3.6 – Aplicação dos rolos de membranas “single-ply” (Leva, 2012).



Figura 3.7 – Aplicação do PVC na cobertura do caso de estudo recorrendo a ar quente.

- Sistemas de impermeabilização líquida – Na instalação destes sistemas, são utilizados fluídos viscosos, que quando aplicados sobre a estrutura, atuam como membrana de impermeabilização. O processo de aplicação pode ser semelhante à pintura como ilustra a Figura 3.8, ou projetado como indica a Figura 3.9, não sendo necessária mão-de-obra qualificada em ambos os casos.



Figura 3.8 – Aplicação de membranas de impermeabilização líquidas (Dewhurst Industrial).



Figura 3.9 – Aplicação de membranas de impermeabilização líquidas (Cesel - Eclaws).

As coberturas verdes têm água na cobertura em permanência, seja devido à pluviosidade ou às regas. Deste modo, a execução da membrana de impermeabilização assume-se como um ponto a ter especial atenção, aquando da construção de coberturas verdes. A instalação deve ser sempre executada por empresas especializadas e certificadas, que apresentem garantias de qualidade.

3.2.2.3. Isolamento térmico

A camada correspondente ao isolamento térmico pode encontrar-se sobre a membrana de impermeabilização (cobertura invertida) ou sob a mesma (cobertura tradicional). Desta forma, os materiais dividem-se em dois grupos:

- Resistentes à água – Podem ser usados em coberturas invertidas ou tradicionais e devem manter o valor da condutibilidade térmica baixo mesmo para situações de total imersão em água. Outra característica relevante é a imputrescibilidade, aumentando a durabilidade do material. O poliestireno extrudado (XPS) é um exemplo que se insere neste grupo de materiais (Dow) como ilustram as Figuras 3.10 e 3.11.



Figura 3.10 – Cobertura com placas de XPS (DOW, 2012).



Figura 3.11 – Encaixes das placas de XPS (Saint-Gobain, 2012).

- Não resistentes à água – Os materiais de isolamento térmico, que imersos em água, apresentam aumento significativo da condutibilidade térmica, inserem-se neste grupo. Estes, devem ser utilizados sob a membrana de impermeabilização e necessitam da instalação da barreira tapa vapores. Um exemplo deste material, é o aglomerado de

cortiça expandida (ICB), ilustrado nas Figuras 3.12 e 3.13, que apresenta boas características térmicas quando seco (Amorim; IST;Sofalca).



Figura 3.12 – Aplicação de placas de isolamento térmico à base de cortiça (Artimestieri Bioedilizia, 2010).



Figura 3.13 – Aplicação de aglomerado de cortiça na forma granular (Artimestieri Bioedilizia, 2010).

O isolamento térmico da cobertura deve ser escolhido tendo em conta a tipologia adotada (invertida, tradicional ou outros). Contudo, uma característica exigida é resistência à compressão do isolamento térmico. As cargas colocadas sobre este, (substrato vegetal, água acumulada e sobrecargas de pessoas no caso de coberturas acessíveis) devem ser suportadas sem danificar os materiais construtivos das camadas inferiores.

3.2.2.4. Membrana anti-raízes e de proteção

A membrana anti-raízes tem a função de impedir que a vegetação danifique a membrana de impermeabilização e/ou o isolamento térmico e consequentemente colocar em causa o bom funcionamento da cobertura. Algumas espécies de plantas são evasivas (como o bambu) pelo que é necessário conhecer o comportamento das mesmas. Existem materiais impermeabilizantes que possuem características anti-raízes (como o PVC) o que possibilita em algumas situações a conjugação das membranas numa só.

A existência de materiais incompatíveis entre a membrana de impermeabilização e as camadas drenantes ou de isolamento térmico pode originar a instalação da membrana de proteção com função de barreira química. Esta opção deve ser analisada e ponderada, uma vez que a escorrência das águas pode transportar químicos e originar a deterioração dos materiais impermeabilizantes.

3.2.2.5. Camada de drenagem

A falta de água ou a sua acumulação excessiva prejudicam a saúde das plantas do substrato vegetal. Deste modo, a camada de drenagem tem duas funções:

- Permitir o escoamento da água em excesso da cobertura;
- Retenção de alguma água.

A primeira função enunciada é comum a qualquer sistema de drenagem de coberturas, ou seja, permitir o escoamento em excesso das águas.

A segunda função enunciada possibilita "...regular as necessidades hídricas da camada vegetal, assim como regular caudais e permitir sempre que possível a redução dos ciclos de rega" (Imperialum; Discoverdi).

Os materiais utilizados podem conter pequenas bolsas na base da membrana de modo a acumular pequenas quantidades de água (Figura 3.14), escoando os excessos. Outros, são constituídos por materiais esponjosos (Figura 3.15), que na presença de água, a encaminham para os locais de escoamento, após estarem saturados.



Figura 3.14 – Camada de drenagem com pequenos depósitos (Green Roof Blocks, 2012).



Figura 3.15 – Instalação de camadas de poliuretano expandido (The VYDRO Effect, 2010).

O mau funcionamento da camada de drenagem, pode gerar a criação de lâminas de água na superfície do substrato vegetal, aquando da ocorrência de chuvas intensas. Esta situação provoca o aumento da carga na cobertura, arrastamento do substrato vegetal e morte das plantas por afogamento. A implementação de descarregadores de superfície pode evitar a criação das lâminas de água, mas exige a sua contemplação desde a fase de projeto e a concordância de todos os especialistas.

A zona dos drenos deve ser projetada e concebida por especialistas certificados. Uma vez que se trata de um local relevante para limpezas e inspeções periódicas, deve estar facilmente acessível. Na envolvente dos drenos, deve existir material arenoso de calibre grosseiro para possibilitar o escoamento das águas e impedir a passagem de finos e raízes que podem prejudicar o funcionamento.

3.2.2.6. Camada filtrante

O substrato vegetal tem partículas de pequenas dimensões que podem colmatar a camada de drenagem. O processo de filtragem pretende evitar esta situação. Para tanto, os materiais utilizados devem ter elevada permeabilidade à água e permanecer inalteráveis face às agressões causadas pelo contacto com o substrato vegetal. Usualmente utilizam-se mantas de geotêxtil ou de fibra de coco.

3.2.2.7. Substrato vegetal

A constituição do substrato vegetal deve ser adequada a cada localização, classificação da cobertura verde (extensiva; semi-intensiva ou intensiva) e tipo de plantas a utilizar. A constituição físico química do substrato deve estar a cargo de técnicos especializados com formação adequada para tal. Um aspeto relevante para o bom desenvolvimento das plantas é a qualidade do substrato estar adaptado a estas, possuindo os nutrientes necessários e adequados.

No âmbito do engenheiro civil, interessa saber qual a máxima carga que pode solicitar a estrutura na cobertura. Deste modo, o valor máximo da carga ocorre para situações de completa saturação do substrato vegetal. Os catálogos dos construtores devem possuir esta informação. Se tal não ocorrer, devem ser realizados ensaios experimentais antes de se iniciar o projeto do suporte estrutural.

Em algumas situações é necessário proteger o substrato da erosão e rápida perda de água, principalmente nas fases iniciais em que as plantas ainda não se desenvolveram. Para tal, pode recorrer-se aos resíduos provenientes das alvenarias. Esta técnica permite que as plantas se desenvolvam entre os espaços livres dos pedaços de alvenarias e ao humedecer os mesmos, retarda a evaporação da água do substrato. Uma solução alternativa é a adoção de sistemas pré plantados tais como ilustram as Figuras 3.16 e 3.17.



Figura 3.16 – Sistema de rolos pré plantados (Snodgrass & McIntyre, 2010).



Figura 3.17 – Plantas desenvolvidas em viveiro para colocação em cobertura verde (Snodgrass & McIntyre, 2010).

3.2.3. Considerações construtivas

As componentes das coberturas verdes podem ser colocadas por ordem diferente da ilustrada na Figura 3.1 de acordo com as tipologias construtivas, como está indicado na secção seguinte. Em algumas situações pode ser necessário a existência de componentes específicas, como barreiras pára-vapor, ou sistemas estruturais específicos. A razão de tal ocorrência reside no facto das condicionantes, como por exemplo clima, altitude do edifício, exposição solar, tipo de substrato e plantas, materiais utilizados, tipo de rega serem diferentes em cada caso. A grande diversidade de condicionantes leva a que cada cobertura verde seja única, pelo que podem ser tomadas medidas diferentes para casos semelhantes.

Um exemplo destas variantes são as adaptações necessárias para as coberturas de inclinações acentuadas. Nestas situações todos os componentes têm de estar adaptados para não serem arrastados pelas águas, nem saírem do lugar devido à ação da gravidade. Para tanto, devem estar contemplados mecanismos de suporte estrutural instalados na camada do substrato vegetal, tal como é observado nas Figuras 3.18 e 3.19.



Figura 3.18 – Suporte estrutural do substrato vegetal (Dunnett & Kingsbury, 2008).



Figura 3.19 – Edifício com suporte estrutural para o substrato vegetal (Dunnett & Kingsbury, 2008).

É usual nas coberturas com maior inclinação existir uma diferenciação de tipos de plantas de acordo com a localização das mesmas. Tal facto, deve-se às plantas que estão no topo da cobertura terem frequentemente menos água disponível devido ao escoamento gravítico da mesma. Esta situação deve ser cuidadosamente analisada por especialistas na área de botânica por arquitetos paisagistas com experiência em coberturas inclinadas.

3.2.4. Tipologias construtivas

Nesta secção são apresentados cinco exemplos construtivos de coberturas verdes.

- Sistema sem isolamento térmico;
- Sistema de cobertura tradicional;
- Sistema de cobertura invertida;
- Sistema TF Ecológico Algibe;
- Sistemas modulares.

Os três primeiros são os mais comuns no mercado, usualmente instalados por qualquer empresa de construção civil. Os dois últimos exemplos são soluções inovadoras, que foram concebidas a partir dos gabinetes de investigação de cada uma das respetivas empresas criadoras.

3.2.4.1. Sistema sem isolamento térmico

O estudo do comportamento térmico das coberturas verdes será abordado no capítulo seguinte (4. – Componente térmica) mas importa referir desde já, que para efeitos de eficiência energética não se deve contemplar o efeito do substrato nem das plantas. Assim, esta solução só deve ser adotada em situações que o clima permita dispensar a instalação do isolamento térmico, o que não acontece no clima mediterrâneo português. Na Figura 3.20 ilustra-se a

opção mais usual quando é utilizado este sistema. Na base da cobertura está instalado o suporte estrutural. Segue-se a membrana de impermeabilização e a camada de drenagem. Na parte superior desta, encontra-se a camada filtrante que impede a passagem dos compostos finos do substrato vegetal. As únicas componentes do sistema visíveis, quando finalizada a instalação, devem ser o substrato vegetal e as plantas.



Figura 3.20 - Sistema sem isolamento térmico; adaptado de (Safeguardeurope).

3.2.4.2. Sistema de cobertura tradicional

A história das coberturas verdes baseia-se em acrescentar substrato vegetal a um sistema estrutural já concebido, logo as primeiras tipologias construtivas tinham praticamente a mesma solução que a cobertura com o sistema tradicional. Todavia foi necessário fazer algumas modificações e introduzir novos componentes, como pode ser visto na Figura 3.21.

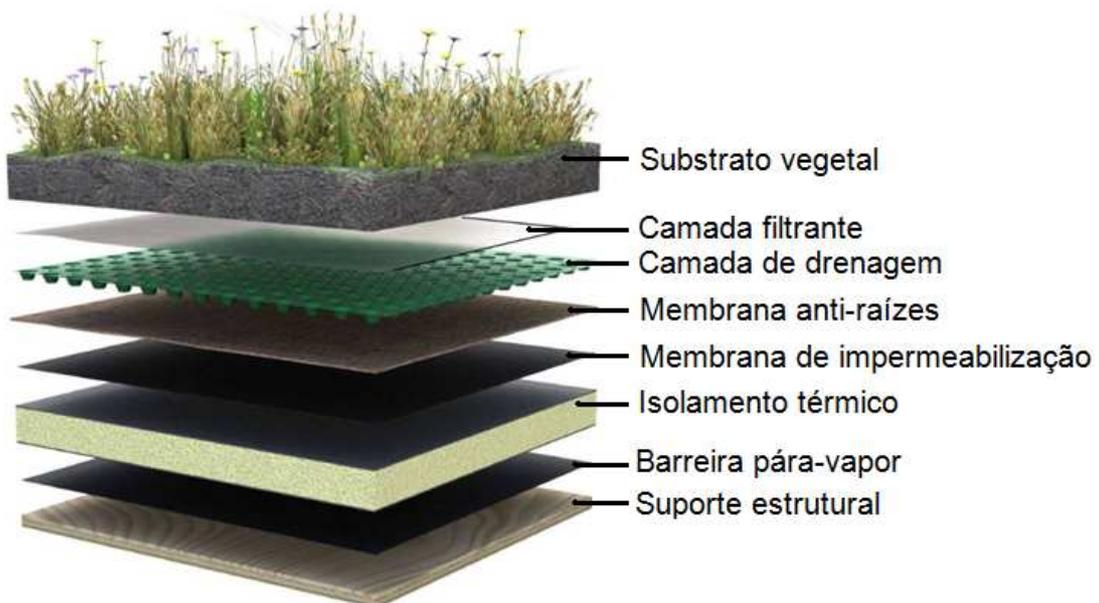


Figura 3.21 – Sistema de cobertura tradicional; adaptado de (Studentaward-middleeast).

A característica principal desta solução, é a localização do isolamento térmico. As coberturas tradicionais apresentam o suporte estrutural seguido do isolamento térmico, que se encontra sob a membrana de impermeabilização. Desta forma, numa solução deste tipo no clima mediterrâneo é importante instalar a barreira pára-vapor, pois na base do isolamento térmico existem condensações durante a estação fria.

Os métodos de instalação da membrana de impermeabilização devem ser adequados para não danificar o isolamento térmico. Uma técnica desaconselhável é a colagem com recurso a maçaricos, como anteriormente indicada na secção 3.1.2.2.

A membrana anti-raízes, a camada drenante e a camada filtrante são colocadas sobre a membrana de impermeabilização, após esta ter sido ensaiada com ensaios de estanquidade. No final é instalado o substrato vegetal. É de realçar que existem bastantes soluções de materiais para cada uma das camadas.

3.2.4.3. Sistema de cobertura invertida

A evolução de novos materiais mais resistentes ao contacto com os agentes ambientais levou à introdução do sistema invertido. Nas coberturas verdes ocorreu exatamente esta situação. Como já existem no mercado materiais que mantêm as características mesmo na presença de água, é possível utilizar este sistema em qualquer cobertura verde. Na Figura 3.22 está ilustrada a disposição das camadas para um sistema invertido, onde se observa que o isolamento térmico se encontra sobre a membrana de impermeabilização.



Figura 3.22 – Sistema de cobertura invertida; adaptado de (Dcgreenworks).

A regularização da estrutura de suporte deve ser bem executada e posteriormente verificada nas coberturas invertidas. Tal facto tem maior importância nesta tipologia construtiva uma vez que a membrana de impermeabilização é instalada diretamente sobre o suporte estrutural. Os pontos angulosos do betão ou lascas de madeira podem perfurar a membrana de impermeabilização e impedir a estanquidade da cobertura. Uma possível solução para este

problema é escolher materiais impermeabilizantes resistentes a cortes contudo, não inviabiliza a exigência de qualidade do acabamento do suporte estrutural.

As camadas acima do isolamento térmico são usualmente iguais às da cobertura tradicional. Todavia, podem adicionar-se componentes específicos para melhorar o comportamento da cobertura, como é o caso da membrana de proteção na Figura 3.22. Esta membrana impede que as partículas do substrato reajam quimicamente com o isolamento térmico.

3.2.4.4. Sistema TF Ecológico Algibe

A Intemper é uma empresa de referência a nível internacional, com várias obras de coberturas e fachadas verdes na Península Ibérica. A repartição de investigação da empresa tem desenvolvido novos materiais mas também sistemas totalmente inovadores. O TF ecológico Algibe é um deles, ilustrado na Figura 3.23.

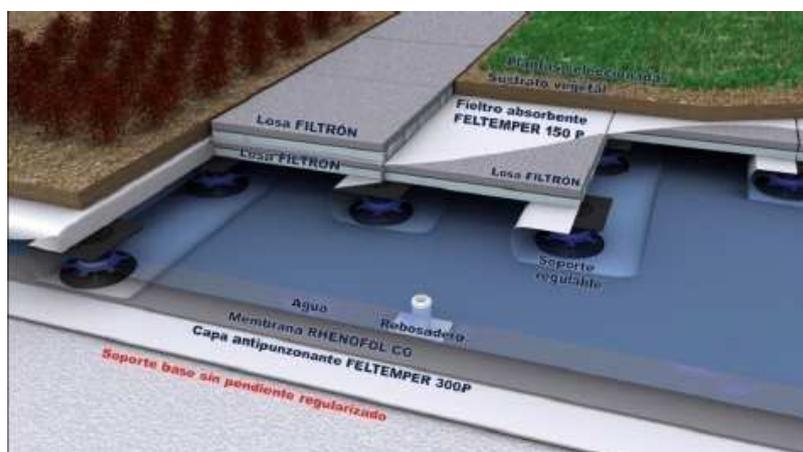


Figura 3.23 – Sistema TF ecológico algibe (Intemper).

O sistema é constituído por suporte estrutural seguido de membrana de impermeabilização, depois possui acessórios que suportam toda a estrutura superior da cobertura. Entre esses suportes encontra-se água que pode ser bombeada ou recolhida diretamente das águas pluviais. Na face superior da placa dos suportes encontra-se o isolamento térmico que é intercalado com uma membrana absorvente filtrante. Isto permite que as plantas instaladas no substrato vegetal possam alcançar a água de que necessitam sem terem de estar em contacto direto com a mesma. A altura do reservatório está dependente dos suportes.

Os materiais de construção utilizados nesta cobertura são exclusivos da empresa Intemper, que os desenvolveu e adaptou especificamente para esta tipologia construtiva.

Atualmente estão a ser desenvolvidos estudos com este sistema na sede da Intemper, em Madrid, Espanha, com vista à quantificação dos ganhos térmicos e à adaptabilidade das plantas a este sistema (Intemper, 2012).

3.2.4.5. Sistemas modulares

A quantidade de soluções de sistemas modulares existentes é vasta e variada. Este sistema caracteriza-se pela rapidez de implantação total ou parcialmente na cobertura, não sendo necessária mão-de-obra especializada (Velazquez, 2003).

Este sistema é por vezes identificado como um processo de pré-fabricação para coberturas verdes. Nas Figuras 3.24 e 3.25 ilustram-se algumas soluções existentes no mercado.



Figura 3.24 – Sistema modular da greengrid (Green Grid).



Figura 3.25 – Sistema pocket habitat da Arup (ARUP).

Um dos problemas destas soluções construtivas é a possibilidade de não adaptação das plantas as camadas inferiores do substrato vegetal. A rapidez de execução pode revelar-se uma desvantagem no médio e longo prazo se as plantas se adaptarem ao novo meio.

O sistema de rega pode ser também um problema e apresentar consequências graves se não forem tomadas as medidas necessárias. As soluções modulares são, em alguns casos, utilizadas no âmbito da reabilitação. Acontece, que na generalidade dos edifícios, as membranas de impermeabilização não se encontram em condições de estarem permanentemente em presença de água devido ao estado de degradação. Desta forma, a instalação de coberturas verdes vai potenciar a ocorrência de infiltrações. O que se pretende chamar à atenção, é o facto de os sistemas modelares deverem ser utilizados e instalados, tendo em conta que é necessário efetuar a análise completa aos componentes da cobertura.

3.3. Fachadas verdes

3.3.1. Classificação

A investigação sobre fachadas verdes é reduzida em comparação com a efetuada acerca das coberturas verdes. Deste modo ainda não existe uma classificação específica.

3.3.2. Componentes do sistema

Em termos genéricos as componentes do sistema de fachadas verdes assemelham-se às das coberturas verdes. Contudo, os materiais são diferentes, assim como a sua disposição e instalação, essencialmente devido ao plano de referência ser vertical.

3.3.2.1. Suporte estrutural

As fachadas verdes têm como suporte estrutural as paredes dos edifícios. Desta forma, as cargas aplicadas devem ter em atenção o material de construção utilizado nas paredes. Nos casos de paredes de alvenaria com estrutura de betão armado, uma opção reside em distribuir

os pontos de apoio pelas zonas dos pilares e lajes. Outra opção é instalar sistemas ao longo da alvenaria que permitam uma distribuição das cargas, como demonstrado na Figura 3.26.

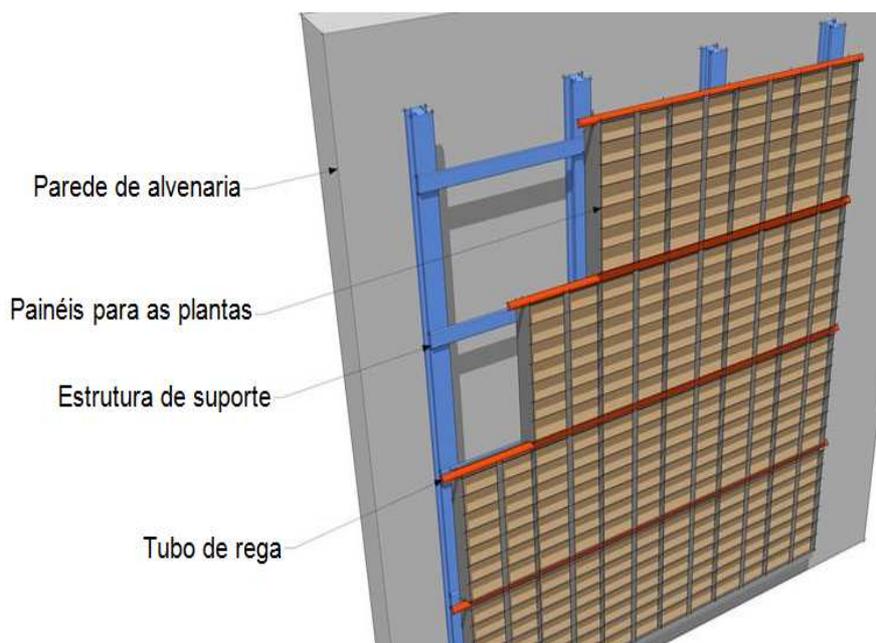


Figura 3.26 – Esquema do suporte estrutural para fachadas verdes; adaptado de (Garden Builders, 2012).

Em todos os sistemas construtivos é necessário contemplar as instalações para o sistema de irrigação, que deve ter a sua localização identificada desde a fase de projeto. Os sistemas de manutenção e limpeza devem também ser tidos em conta, em especial para projetos de elevada envergadura.

A construção de toda a fachada verde, em países como Portugal, deve ser executada a partir de um metro de altura. Os relatos registados na visita guiada às Natura Towers indicam a existência de roedores nas fachadas verdes, devido a estas estarem a tocar diretamente no solo. A infestação de espécies animais indesejadas, que podem aceder às coberturas e janelas dos edifícios é uma inconveniência que deve ser tida em atenção. Nas Natura Towers está a ponderar-se a introdução de ratoeiras para combater a existência de alguns roedores de pequeno porte. Em países que possuam uma fauna alargada de trepadores, roedores e primatas, a altura de um metro pode revelar-se insuficiente.

Nas zonas sísmicas, a utilização de sistemas robustos pode representar o perigo de queda em bloco da fachada verde. De acordo com os sistemas construtivos utilizados, devem ser tomadas medidas de segurança estrutural.

O vento também pode implicar a instalação de sistemas de segurança adicionais. Nas cidades são criados túneis de vento quando se tem uma avenida com edifícios altos nas suas laterais. As velocidades do vento aumentam e podem provocar a queda parcial ou total das fachadas verdes. Deste modo, devem ser verificadas as condições de segurança de acordo com as condições climáticas da zona a implantar a fachada verde.

3.3.2.2. Membrana de impermeabilização

As membranas de impermeabilização são instaladas diretamente sobre o suporte estrutural, na generalidade dos casos. Os módulos robustos utilizados nas Natura Towers têm todo o sistema construtivo no interior de caixas metálicas que são acopladas à parede do edifício.

A necessidade de rega aumenta os riscos de infiltrações. Logo, o projeto de impermeabilização deve ser realizado para os casos de fachadas verdes construídas diretamente sobre o suporte estrutural.

3.3.2.3. Estrutura de suporte das plantas

A variedade de sistemas construtivos para as fachadas verdes obriga à existência de diferentes materiais. As estruturas onde estão as plantas devem possibilitar o crescimento saudável e o acesso à água nutrificada proveniente do sistema de rega. Para tal, os materiais devem ter capacidade de suporte de carga (na fase adulta da planta) e permitir a absorção e retenção de alguma água para evitar a constante necessidade de irrigação.

Os materiais comuns no mercado para as soluções robustas são mantas absorventes indicadas na Figura 3.27 e painéis esponjosos que permitem a colocação da planta no centro dos mesmos ilustrados na Figura 3.28.



Figura 3.27 – Bolsas efetuadas nas mantas absorventes nas Natura Towers, Portugal.



Figura 3.28 – Painéis esponjosos instalados na fachada das Natura Towers, Portugal.

No que se refere a soluções aligeiradas, usualmente indicadas para trepadeiras, recorre-se a sistemas de cabos (Figura 3.29) e redes (Figura 3.30).



Figura 3.29 – Sistema de cabos instalados nas Natura Towers, Portugal.



Figura 3.30 – Sistema de redes instalados St. Gallen, Suíça (Jakob).

3.3.3. Tipologias construtivas

Nesta secção estão identificados quatro sistemas construtivos de fachadas verdes:

- Sistemas modulares;
- Sistemas de redes, vasos e suportes alternativos;
- Sistemas de mantas absorventes;
- Sistema tubular.

Os três primeiros são os mais comuns do mercado, todavia a oferta das empresas construtoras baseia-se em um ou dois sistemas, entrando num processo de especialização e adaptação da solução. A quarta tipologia construtiva apresentada é uma especificação que apresenta potencialidades de aproveitamento das águas pluviais adaptando os tubos de queda.

3.3.3.1. Sistemas modulares

A característica principal deste sistema reside na pré-fabricação de módulos com as plantas já colocadas nos respetivos locais onde estas vão ficar após a instalação estar finalizada. A construção contempla o suporte estrutural no local, o sistema de rega e os acessórios como as goteiras na base da estrutura ou os gotejadores no topo, como indica a Figura 3.31. Na solução da Zinco, o sistema de irrigação tem como base a manta de irrigação. Esta é mantida sempre húmida através dos gotejadores que saturam a manta, composta por materiais absorventes. Na parte posterior dos módulos, as plantas retiram a água da manta de irrigação, possibilitando ter as condições para o seu desenvolvimento.

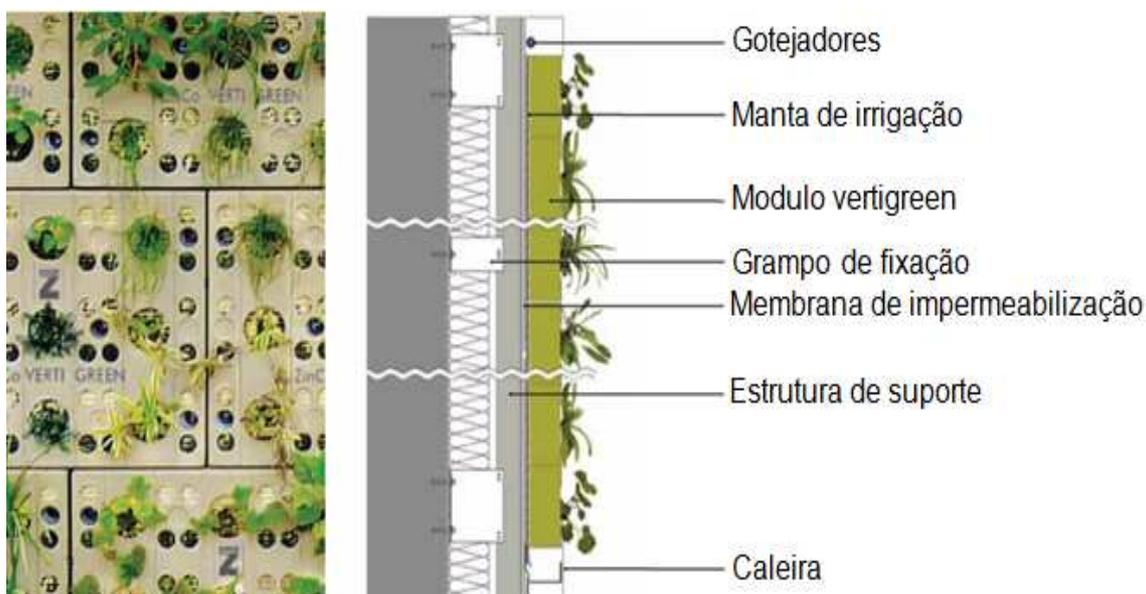


Figura 3.31 - Sistema modelar ornamental vertigreen; adaptado de (Zinco, 2012).

3.3.3.2. Sistema de redes, vasos e suportes alternativos

Estes sistemas são caracterizados por serem facilmente executados por qualquer pessoa sem formação específica na área e permitirem abordagens inovadoras como apresenta a Figura 3.32. Podem ter vários tamanhos, todavia é aconselhado acompanhamento técnico para projetos de maior envergadura tal como o representado na Figura 3.33.



Figura 3.32 - Projeto de reutilização de garrafas do arquiteto Marcelo Rosenbaum (Rosenbaum, 2012).

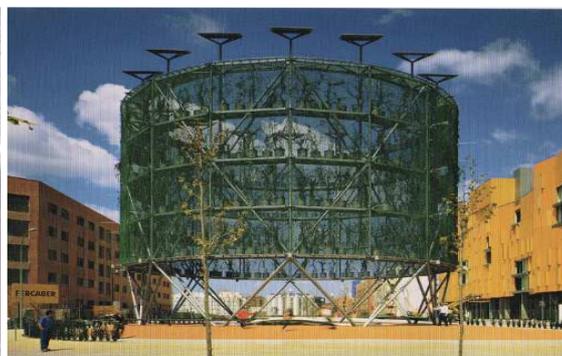


Figura 3.33 - Edifício em Madrid com estrutura de rede (Uffelen, 2011).

Estes sistemas são variados e abrangentes, logo não existe uma tipologia própria a seguir. É importante garantir o funcionamento de todo o sistema, desde o suporte estrutural até ao sistema de irrigação mas o modo como se executa é deixado a cargo de cada construtor.

3.3.3.3. Sistema de mantas absorventes

A configuração deste sistema é semelhante aos modulares. A diferença está no suporte das plantas. Consiste em colocar o painel estrutural com a membrana de impermeabilização (PVC) já devidamente instalada, no plano horizontal perto do local de implantação. Posteriormente colocam-se duas mantas e na superior fazem-se os recortes que servem de bolsas para as plantas. Para fixar as duas mantas utiliza-se um sistema de agrafos. Posteriormente é instalado o sistema de rega. A nível mundial já existem métodos mais desenvolvidos, todavia a base do processo construtivo é idêntica. Uma das instalações efetuadas por este processo está ilustrada na Figura 3.34.



Figura 3.34 - Jardim vertical de mantas absorventes em Coimbra (Clorofila).

3.3.3.4. Sistema tubular

Este sistema foi utilizado pela primeira vez em Nova Iorque. É facilmente instalado em vedações ou postes, que servem de suporte estrutural, e permite que seja totalmente pré-fabricado. Toda a envolvente do tubo está revestida por uma camada de manta absorvente que serve de suporte ao substrato, onde estão inseridas as plantas que passam para o exterior através de rasgos, como apresenta a Figura 3.35. O tubo de substrato é fixo ao suporte estrutural por meio de cabos de ligação, usualmente fabricados em aço inoxidável. No centro do tubo de substrato vegetal, encontra-se um núcleo composto por materiais absorventes que permite o abastecimento uniforme de água às plantas e escoar a água em excesso para a base do sistema. Na sua base são colocados acessórios que têm a dupla função de suportar todo o sistema e drenar a água proveniente dos escoamentos e regas (Uffelen, 2011).

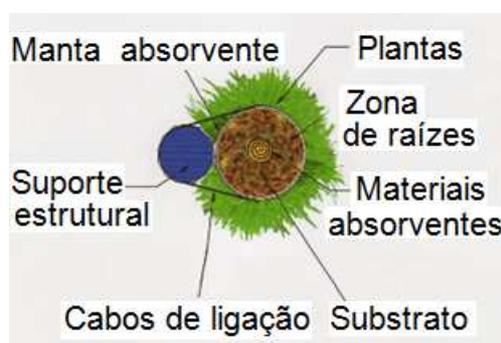


Figura 3.35 - Corte do sistema tubular; adaptado de (Uffelen, 2011).

3.4. Considerações finais

No capítulo dos sistemas construtivos são primeiramente identificadas as classificações das coberturas verdes (extensivas; semi-intensivas e intensivas).

As componentes das coberturas verdes são várias e algumas estão presentes em todos os sistemas construtivos, seja qual for a classificação:

- Suporte estrutural;
- Membrana de impermeabilização;
- Substrato;
- Plantas.

A alteração da ordem de instalação ou dos materiais utilizados nas componentes leva à alteração do funcionamento do sistema, que pode ser adaptado para diferentes objetivos de utilização das coberturas verdes. Exemplo prático desta situação é apresentado onde o sistema TF ecológico algibe possibilita o armazenamento de águas enquanto o sistema modelar é caracterizado pela rápida instalação. As fachadas verdes ainda não têm uma classificação específica como as coberturas, todavia a gama de sistemas construtivos é ampla e variada.

4. Componente térmica

4.1. Considerações iniciais

A Comissão Europeia publicou a diretiva 2002/91/CE onde refere que o sector residencial e terciário absorve quase 40% do consumo final da energia e encontra-se em expansão. A necessidade de a médio e longo prazos garantir a segurança do abastecimento energético, está também patente na diretiva, considerando a necessidade da utilização racional dos recursos naturais, onde estão incluídos os produtos petrolíferos, o gás natural e os combustíveis sólidos. A diretiva foi transposta para Portugal e atualmente integra vários diplomas consoante se esteja a falar de edifícios habitacionais, escritórios ou edifícios estatais. Destes diplomas destacam-se:

- Decreto-Lei nº 78/2006 – Criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei nº 79/2006 – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Decreto-Lei nº 80/2006 – Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE);
- Resolução do Conselho de Ministros nº 2/2011 – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP).

É expectável que ao ler estes diplomas existisse alguma informação de como contemplar uma cobertura e/ou fachada verde nos edifícios, de modo a potenciar a utilização de meios passivos para melhorar a eficiência energética dos mesmos. Acontece que, como já foi mencionado anteriormente em 2.4. - Legislação e regulamentação, não existe nenhuma referência específica no que concerne a este tema. Deste modo, o objetivo deste capítulo é conhecer o modo de propagação do calor nas coberturas e fachadas verdes e qual a influência destas no edifício, ao nível da eficiência energética.

4.2. Transmissão do calor

Os fenómenos de transmissão do calor estão ligados à envolvente térmica do edifício (paredes, coberturas e pavimentos), onde se exige o conforto térmico com o mínimo de dispêndio de energia (Piedade, 2000).

Os processos admitidos para a transmissão de calor são três:

- Condução;
- Convecção;
- Radiação.

Importa referir que na generalidade dos casos estão presentes os três processos em conjunto, contudo seguidamente serão analisados individualmente para permitir uma melhor compreensão de cada um deles.

4.2.1. Condução

A transmissão do calor por este processo efetua-se de um ponto do corpo para outro, ou de um corpo para outro em contacto com este, sem que se verifiquem movimentos internos ou a emissão de radiações (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009). A lei que rege este processo é frequentemente designada por lei de Fourier e pode ser explicada tendo por base a Figura 4.1.

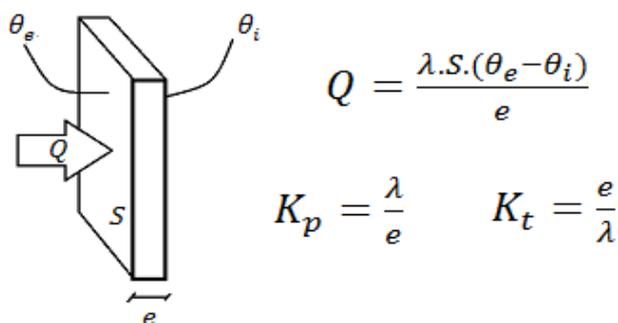


Figura 4.1 – Condução térmica. Lei e Fourier (Piedade, 2000).

Em que:

Q – Fluxo de calor que atravessa a placa;

λ – Condutibilidade térmica do material;

S – Superfície da placa;

$\theta_e; \theta_i$ – Temperaturas faciais da placa;

e – Espessura da placa;

K_p – Condutância térmica;

K_t – Resistência térmica.

Interessa reter que o fluxo de calor que atravessa a placa (Q) é diretamente proporcional às superfícies e diferenças de temperaturas superficiais da placa e inversamente proporcional à sua espessura. Chega-se então ao parâmetro de proporcionalidade que é a condutibilidade térmica (λ). A definição do mesmo é a “quantidade de calor que atravessa perpendicularmente uma superfície de área unitária, na unidade de tempo, quando existe uma diferença de temperatura de uma unidade entre essa superfície e outra igual, a uma distância unitária” (Piedade, 2000). O tipo de material e o estado em que se encontra tem influência sobre este fator.

A espessura do material (e) e a condutibilidade térmica (λ) permitem definir dois parâmetros: a condutância e resistência térmica. Ambos identificam a qualidade térmica do material em estudo, uma vez que expressam a maior ou menor facilidade com que este se deixa atravessar pelo calor. No estudo das coberturas e fachadas verdes, quando a condução é o processo mais representativo de transmissão de calor, importa quantificar a condutibilidade térmica e posteriormente analisar a espessura que se deve optar para alcançar os resultados esperados (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).

4.2.2. Convecção

O processo da condução tem aplicabilidade para a generalidade dos materiais sólidos. Contudo, no que diz respeito aos fluídos, tal processo tem limitações devido a estes se encontrarem em movimento. A ideia essencial do processo de convecção reside no facto de a transmissão de calor ocorrer devido às correntes de fluído existentes, podendo ser simplificada através da Figura 4.2.

A análise da transmissão do calor por convecção está ligada a um estudo simultâneo do processo de transferência de energia e do movimento do fluído.

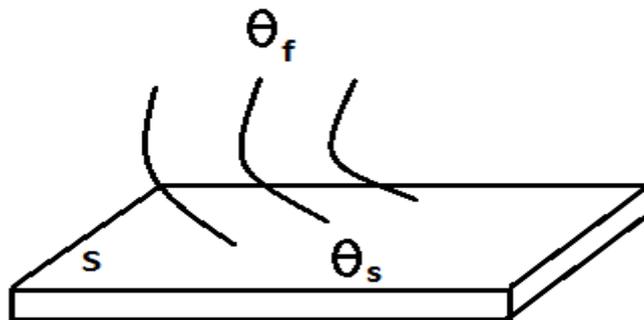


Figura 4.2 - Trocas de calor por convecção (Piedade, 2000).

4.2.3. Radiação

Os corpos emitem e absorvem radiações eletromagnéticas. Estas radiações têm diversos comprimentos de onda com uma intensidade que é função da temperatura absoluta a que se encontram e do estado da sua superfície (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009). Esta forma de transmissão do calor que não necessita de qualquer suporte material e ocorrem entre todos os materiais e em qualquer fase denomina-se de radiação. Como tal interessa dizer que a transmissão do calor por este processo depende de:

- Temperaturas absolutas a que se encontrem os corpos;
- Estados das superfícies dos corpos;
- Posição relativa entre os corpos.

Um conceito importante é quando um corpo recebe energia radiante (incidente) (q_i), em geral, esta divide-se em três componentes (Figura 4.3) que variam de acordo com o corpo, a temperatura, estado e posição:

- Componente absorvida (q_a);
- Componente refletida (q_r);
- Componente transmitida (q_t).

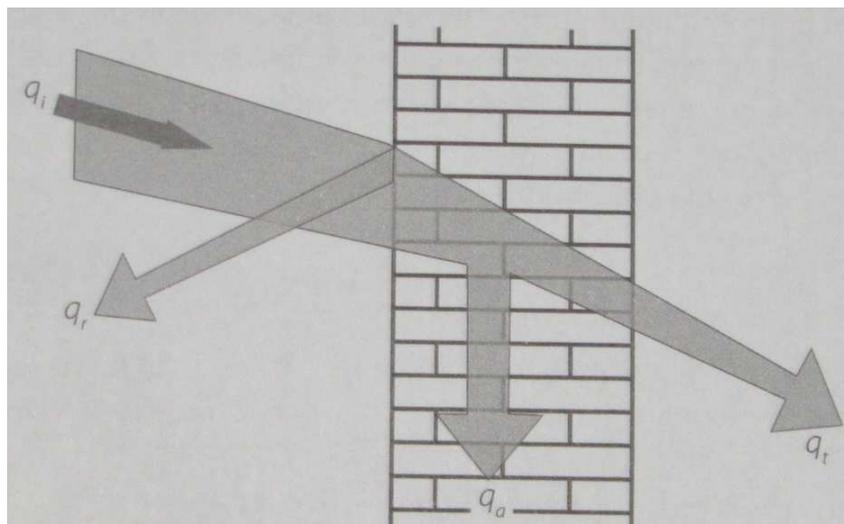


Figura 4.3 – Esquema das energias: incidente, absorvida, refletida e transmitida (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).

4.3. Transmissão do calor nas coberturas verdes

As coberturas verdes são muito heterogêneas e distintas, o que leva a algumas simplificações para reduzir o número de variáveis em estudo. Importa referir que o objeto de estudo deste capítulo é o substrato vegetal e não a totalidade da cobertura.

Uma metodologia adotada para o estudo da transmissão do calor é a divisão em duas zonas da cobertura verde, como se ilustra na Figura 4.4 (Mander & Teemusk, 2009):

- Zona aérea (local onde se encontra a parte aérea das plantas);
- Zona de suporte (local onde se encontra o substrato e as raízes das plantas).

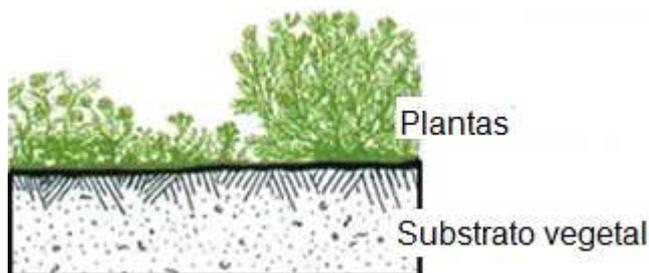


Figura 4.4 - Simplificação para o estudo de transmissão de calor nas coberturas verdes (Arkous, arquitetura e construção).

O problema reside na caracterização do substrato, uma vez que este possui materiais nos três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso). De acordo com (Barrio, 1997), as coberturas verdes atuam como uma camada de isolamento, reduzindo o fluxo de calor e impedindo a radiação solar de incidir diretamente na estrutura da cobertura. Este estudo refere também que a zona aérea tem menos importância em relação à zona de suporte no que concerne à contribuição para o isolamento térmico da cobertura verde como um todo.

A investigação nesta área tem sido desenvolvida nos últimos anos e alguns estudos como os de (Moriyama & Takebayashi, 2006), (Zhang, Meng, & Feng, 2010), (He & Jim, 2010) e (Getter K., Rowe, Andresen, & Wichman, 2011) verificam a redução da radiação solar devido à zona aérea e de suporte funcionarem como camada de proteção da estrutura do edifício. O processo

da convecção ocorre nas duas zonas da cobertura enquanto a condução só tem significado no substrato. Os estudos indicam que estes processos devem ser ajustados consoante o clima, alterando as plantas e as propriedades do substrato resultando no aumento da eficiência da cobertura. Ao contemplar estas considerações, os resultados obtidos em cada estudo, apresentaram globalmente ganhos térmicos contudo, os métodos de análise foram diferentes de caso para caso e nenhum autor generaliza o facto de as coberturas verdes funcionarem como isolamento térmico em todas condições. Atualmente é mais consensual referir que as coberturas verdes atenuam as flutuações de temperatura, na maioria das situações. O caso de estudo de (Mander & Teemusk, 2009) que é explicado seguidamente, apresenta comparações abrangentes para diferentes períodos do ano. A atividade experimental deste estudo consistiu em comparar duas coberturas indicadas nas Figuras 4.5 e 4.6:

1. Cobertura de referência com membrana betuminosa (RR);



Figura 4.5 - Corte esquemático da cobertura com membrana betuminosa; adaptado de (Auckland, 1998).

2. Cobertura verde de 100 mm de altura (GR).



Figura 4.6 - Corte esquemático da cobertura verde; adaptado de (Auckland, 1998).

Procedeu-se à instalação de cinco sensores de temperatura, um sobre a membrana betuminosa da cobertura RR e quatro na cobertura GR tal como está indicado na Figura 4.7:

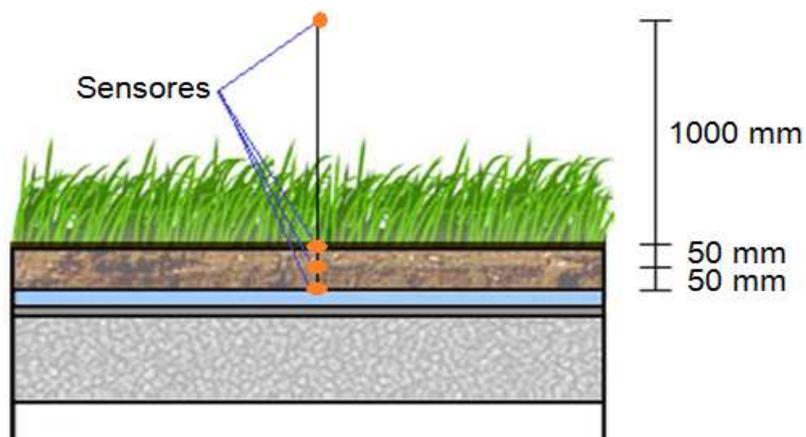


Figura 4.7 - Esquema representativo da localização dos sensores; adaptado de (Auckland, 1998).

A identificação dos sensores é a seguinte:

- Sensor 1: “GR at 100 mm” – Medição da temperatura à profundidade de 100 mm no substrato da cobertura verde;
- Sensor 2: “GR at 50 mm” – Medição da temperatura à profundidade de 50 mm no substrato da cobertura verde;
- Sensor 3: “GR surface” – Medição da temperatura à superfície do substrato da cobertura verde;
- Sensor 4: “RR surface” - Medição da temperatura à superfície do pavimento betuminoso da cobertura de referência;
- Sensor 5: “Air” - Medição da temperatura a 1000 mm acima do substrato da cobertura verde.

A afirmação feita anteriormente que as coberturas verdes atenuam as flutuações de temperatura é confirmada com a análise dos gráficos do estudo (Mander & Teemusk, 2009), visíveis nas Figuras 4.8 a 4.11:

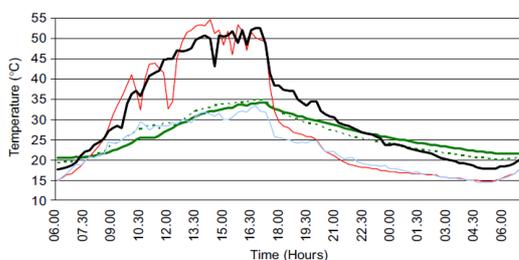


Figura 4.8 - Temperaturas medidas num dia de verão com céu limpo (Mander & Teemusk, 2009).

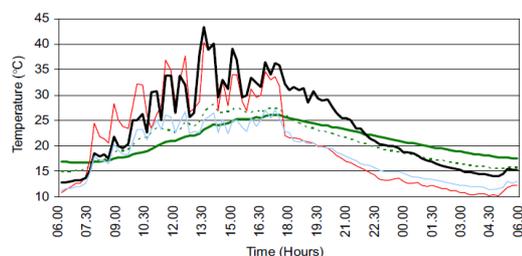


Figura 4.9 - Temperaturas medidas num dia de verão com céu nublado (Mander & Teemusk, 2009).

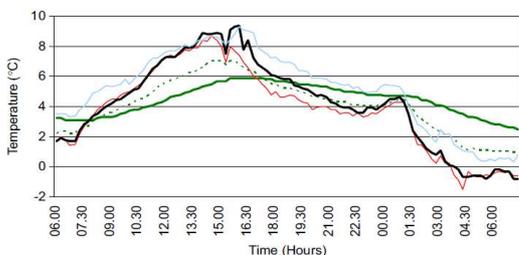


Figura 4.10 - Temperaturas medidas num dia de outono com céu nublado (Mander & Teemusk, 2009).

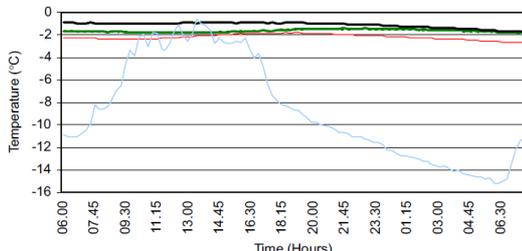


Figura 4.11 - Temperaturas medidas num dia de inverno com 200 mm de neve sobre a cobertura (Mander & Teemusk, 2009).



Figura 4.12 - Legenda de interpretação dos gráficos das figuras 4.8 a 4.11 (Mander & Teemusk, 2009)¹.

As reduções das flutuações de temperatura na base da cobertura verde (“GR at 100mm”) verificam-se através da linha correspondente sofrer reduzidas alterações, nas Figuras 4.8 a 4.10, em relação a “GR surface”, “RR surface” e “Air”. Percebe-se inclusive que em dias nublados existem maiores alterações de incidência da radiação nas coberturas (identificadas

¹ Na análise dos gráficos é importante ter em atenção a diferença entre escalas da temperatura.

pelos picos no gráfico da Figura 4.9), todavia a linha correspondente a “GR at 100mm” sofre poucas oscilações, revelando que a cobertura verde tem um papel importante na atenuação de flutuações de temperatura. Na Figura 4.11 é relevante referir que a cobertura (“RR surface”) apresenta uma temperatura superior à da cobertura verde em todos os patamares. Tal facto deve-se à espessura da camada de neve que se encontrava na cobertura.

4.4. Transmissão do calor nas fachadas verdes

As fachadas verdes têm um modo de funcionamento diferente das coberturas verdes. Como foi identificado no subcapítulo 4.3. – Transmissão do calor nas coberturas verdes, estas dividem-se em duas zonas (aérea e suporte) e têm os três processos de transmissão do calor a atuar para qualquer tipologia de cobertura verde. Nas fachadas verdes tal não acontece, uma vez que as tipologias apresentam uma diversidade superior, indicado no subcapítulo 3.2., logo os processos de transmissão do calor alteram-se significativamente para cada variante.

Um modo encontrado para analisar as fachadas verdes é indicado no estudo de (Pérez, Rincón, Vila, González, & Cabeza, 2011) e consiste nestas atuarem como sistemas passivos de poupança energética (no subcapítulo seguinte 4.4. - Eficiência energética, será explicada a diferença entre os sistemas passivos e sistemas ativos). Assim, existem diferentes mecanismos que se podem utilizar, os quais são descritos seguidamente.

4.4.1. Sombreamento e isolamento térmico

A vegetação das fachadas verdes impede a radiação solar de incidir diretamente no edifício. Além desta, também a própria estrutura de suporte previne a incidência dos raios solares, consoante seja mais ou menos robusta. Estes dois mecanismos estão interligados, podendo optar-se por beneficiar mais um em detrimento do outro e vice-versa.

Na Figura 2.26 (Natura Towers), existem dois sistemas que podem ser considerados opostos. As trepadeiras que são visíveis nos interiores das fachadas crescem em volta de cabos, o que leva ao aproveitamento do sombreamento consoante a densidade da folhagem mas ao nível do isolamento térmico os benefícios são praticamente nulos. O processo que tem total relevância de transmissão de calor é o impedimento da radiação solar. Já os painéis exteriores (Figura 3.28, Natura Towers) têm um sistema modular robusto que possuem pequenas plantas, mas no seu todo têm uma massa significativa e com materiais de suporte com coeficientes de condutibilidade térmica mais reduzidos. Assim, os efeitos térmicos neste caso funcionam prevenindo as radiações solares de incidir diretamente na fachada, mas também estão presentes os processos da condução e da convecção.

Existe ainda uma outra tipologia onde os processos de maior relevo são o impedimento da radiação solar e a convecção. Na Figura 2.20 (Consortio Santiago) encontra-se um sistema que possui a estrutura de suporte da fachada verde, ligeiramente afastada do edifício. Existe então uma zona entre a vegetação, (que efetua o sombreamento), como se fosse uma caixa-de-ar aberta, permitindo a passagem de ar que por sua vez, remove o calor latente desta zona.

4.4.2. Arrefecimento por evaporação

A evaporação que ocorre no substrato e a transpiração nas plantas, origina a denominada evapotranspiração. É um fenómeno complexo e tem várias variáveis. O arrefecimento por evaporação é a evapotranspiração das fachadas verdes. De acordo com (Shewaka & Mohamed, 2012) a evaporação é o meio mais eficiente de arrefecer um edifício, uma vez que um metro cúbico de água consome 680 kWh de água evaporada.

As fachadas verdes em que se opte por utilizar este mecanismo têm como objetivo o arrefecimento da temperatura do edifício e da sua zona envolvente, contribuindo para a mitigação do efeito de ilha de calor nas cidades. Deste modo, o clima deve ser adequado, com elevada radiação solar de modo à evapotranspiração ocorrer, e por efeito de convecção, arrefecer toda a zona circundante.

4.4.3. Efeito barreira contra o vento

O efeito do vento faz com que através do processo da convecção existam situações prejudiciais para a eficiência térmica de um edifício tanto nas estações quentes como frias. Se o vento for muito quente, ao entrar em contacto com o edifício, este aquece. Todavia se o vento for muito frio, acontece o oposto e o edifício arrefece. Como na generalidade dos casos os ventos quentes ocorrem no verão, em que é intenção manter o edifício a uma temperatura inferior à exterior e os ventos frios ocorrem no inverno sendo aqui a intenção manter o edifício a temperaturas superiores às exteriores, a conclusão é: para qualquer um destes casos o vento atua como um fator negativo.

A proteção contra o vento por efeito da construção de uma fachada verde depende de alguns fatores como: velocidade e direção do vento, dimensões da fachada verde, densidade e penetrabilidade da vegetação. No estudo de (Shewaka & Mohamed, 2012) está indicado a importância da estrutura de suporte e das plantas a utilizar de modo a toda a fachada ter o comportamento desejado.

4.5. A eficiência energética e as coberturas e fachadas verdes

No início deste capítulo foram referidos vários diplomas que são a base regulamentar do nosso País no que concerne ao comportamento térmico dos edifícios. Acontece que em nenhum são referidas as coberturas e fachadas verdes. Estas, são meios passivos, logo não necessitam de fornecimento de energia para atuarem, o que as torna um benefício para a eficiência energética. Em Portugal, a certificação energética dos edifícios carece da verificação à custa dos isolamentos legalmente admitidos. Deste modo se o objetivo for melhorar o isolamento térmico com as coberturas e fachadas verdes, e o edifício possuir sistemas passivos eficientes, tal não é economicamente viável porque a certificação energética já estará classificada com os melhores níveis (B+,A,A+). Em suma, os edifícios que apresentam o melhor potencial de melhoramento a nível térmico com a implementação de coberturas e fachadas verdes são os mais antigos (Davison, Beck, Stovin, & Castleton, 2010).

Em Portugal existe uma amostra significativa de edifícios que podem beneficiar a nível térmico com as coberturas e fachadas verdes uma vez que segundo a Associação dos Profissionais e Empresas de Mediação Imobiliária de Portugal (APEMIP), a classe de eficiência energética no segmento residencial e com maior representação é C (25,3%) e no segmento dos serviços é G (30,8% por se tratar de uma categoria que encerra o maior número de ocorrências nos pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização) (APEMIP, 2012).

Nos artigos apresentados ao longo deste capítulo, vários são aqueles que apresentam resultados com ganhos térmicos significativos. Todavia, a bibliografia atual ainda tem falta de abrangência de resultados para comparar diferentes locais, utilizando a mesma cobertura verde e/ou fachada verde. Só deste modo é possível dizer se o resultado obtido pode ser extrapolado para outras regiões do globo. O artigo (Alexandri & Jones, 2008) retrata exatamente esta lacuna. No estudo foram analisados diversos parâmetros em nove cidades com climas diferentes para um dia típico modelo. Chegou-se à conclusão que em todos os climas as temperaturas do ar na envolvente e das coberturas e fachadas verdes baixaram significativamente. O estudo contemplou os ganhos térmicos, traduzidos na redução em percentagem da carga térmica de arrefecimento² para manter uma temperatura de 23°C no interior dos edifícios. Na Figura 4.13 está representada a redução, onde para cada cidade se tem duas barras. A da esquerda representa a influência só das fachadas verdes instaladas e a da direita para todo o complexo de fachada, mais cobertura verde.

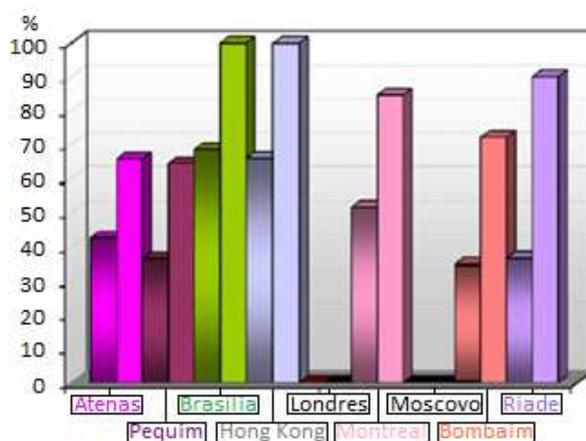


Figura 4.13 - Redução da carga de arrefecimento média (%) com uma temperatura interior de 23 °C; adaptado de (Alexandri & Jones, 2008).

No gráfico observa-se que para as cidades de Brasília (a verde) e Hong Kong (a cinzento) a redução da carga de arrefecimento foi de 100%, ou seja, para manter o interior dos edifícios a 23°C, a instalação de cobertura e fachadas verdes permitiu que não fossem necessários meios de arrefecimento ativos. Londres e Moscovo apresentam valores de 0% logo, as coberturas e fachadas verdes não causaram benefícios na redução da carga de arrefecimento para o dia típico adotado. A causa deste acontecimento nestes edifícios destas duas cidades é, não ser necessária qualquer carga de arrefecimento para os dias típicos, já antes de serem

² A carga térmica de arrefecimento de um espaço é a potência térmica que é necessária retirar desse mesmo espaço de modo a que a temperatura no seu interior seja constante e igual à estabelecida como condição de projeto. (Ferreira & Pedrosa)

implantadas as coberturas e fachadas verdes. Deste modo, a instalação das coberturas e fachadas verdes pode ter representado variação nos ganhos térmicos mas não se traduziu na carga de arrefecimento registada. Este facto retrata o que já foi dito anteriormente acerca de edifícios com bons isolamentos térmicos e correspondente certificação energética de classes elevadas, que têm poucas vantagens a nível térmico com a instalação de coberturas e fachadas verdes.

Resta apenas referir que para as outras cidades em estudo como Brasília e Hong Kong, obtiveram-se reduções significativas, sendo que a cobertura e fachadas verdes conjugadas apresentaram melhores resultados (20 a 50%) que as fachadas verdes isoladamente.

5. Componente hídrica

5.1. Considerações iniciais

A vertente hídrica não se encontra num estado tão avançado como a vertente térmica. Prova disso é a inexistência de certificação hídrica para edifícios ou equipamentos em comparação com a certificação energética obrigatória para edifícios e equipamentos novos. Torna-se então evidente que a questão hídrica não tem uma dimensão tão específica e pormenorizada ao nível da regulamentação, como a questão energética. Todavia, ao pesquisar artigos científicos referentes a coberturas e fachadas verdes, surgem em maior quantidade estudos relacionados com a componente hídrica (Dunnett & Kingsbury, 2008). Tal facto pode ter sido fomentado por uma crescente preocupação pelos recursos hídricos a nível global. A Comissão Europeia tem demonstrado preocupação acerca desta temática, emitindo a diretiva 2000/60/CE que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Tem como meta a execução de medidas nos estados membros, definidos por estes, que assegurem o “bom estado”³ das águas de superfície e subterrâneas até 2015 (PE & CUE, 2000).

O Instituto da Água (INAG) é o organismo central com jurisdição sobre todo o Território Nacional na questão hídrica, dotado de autonomia administrativa e património próprio (INAG). Exerce funções de Autoridade Nacional da Água, aplicando a lei nº58/2005 (Lei da Água) que transpõe a diretiva 2000/60/CE para território nacional. A Lei da Água estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável deste recurso, contudo para saber como são equacionadas as águas pluviais nos edifícios é necessário recorrer a regulamentação nacional específica. Toda a legislação atual se resume ao decreto regulamentar nº 23/95 no que se refere às águas pluviais, sendo estas tratadas como um resíduo. Existem porém duas Resoluções da Assembleia da República que podem vir a alterar o modo como se abordam as águas pluviais, que neste capítulo serão abordadas na secção respetiva.

As águas pluviais vão ser objeto de estudo ao longo deste capítulo assim, importa perceber que o enquadramento legal é essencial. Seguidamente serão abordados os problemas que atualmente estão identificados nas cidades, no que concerne à questão hídrica e posteriormente, será indicada qual a influência das coberturas e fachadas verdes na mitigação dos mesmos.

5.2. Problemática das águas pluviais nas cidades

As águas pluviais na natureza têm usualmente percursos bem definidos para o seu escoamento. A implantação de uma cidade leva a uma alteração destes percursos e à impermeabilização de grandes áreas. As vias de comunicação acabam por ser os novos locais de escoamento de águas pluviais, que encaminham as mesmas até ao destino de despejo, geralmente rios e oceanos. Assim, as alterações que as cidades provocam nos escoamentos

³ A definição do “bom estado” das águas é estabelecida pelos parâmetros avaliativos dispostos no anexo V da diretiva 2000/60/CE.

são elevadas (Faria & Pedrosa, Maio 2005); todavia, observa-se que existem ainda fatores agravantes que amplificam a possibilidade de ocorrência de inundações (Oliveira & Ramos, 2002).

O aumento da população nas cidades leva à incrementação de águas residuais domésticas. Algumas infraestruturas de escoamento nas cidades já possuem sistemas separativos todavia, ainda existem sistemas unitários. Deve-se verificar se os coletores têm capacidade para suportar as novas solicitações; se tal não for feito, quando ocorrer um pico de cheia, o coletor pode estar ocupado com um caudal superior de águas residuais domésticas para o qual foi dimensionado. Nesta situação, o caudal de pico de cheia de dimensionamento é superior à capacidade real do coletor, aumentando o risco do coletor entrar em carga e conseqüente inundação.

Outra razão, reside na falta de manutenção e limpeza das infraestruturas de escoamento de águas residuais que pode causar entupimentos e conseqüentemente inundações.

Todas as questões anteriormente descritas podem ser colmatadas implementando medidas de planeamento cuidadoso das novas infraestruturas e limpeza periódica das infraestruturas de escoamento. Contudo existe uma situação que por mais cuidadoso que se possa ser, não é possível de prever; trata-se das alterações climáticas. Existem então duas situações prováveis:

- Picos de cheia mais intensos, fora dos abacos de dimensionamento e previsões expectáveis;
- Falta de água nas cidades que se agrava pelo não aproveitamento da mesma durante a ocorrência das monções.

É nesta base que as coberturas e fachadas verdes serão seguidamente analisadas podendo ser uma medida de mitigação dos riscos de inundações devido a fatores humanos ou fatores climáticos impossíveis de prever com rigor.

5.3. Influência das coberturas verdes na gestão hídrica das cidades

A atual conjuntura de abastecimento de água às cidades leva às fontes de captação serem cada vez mais longínquas das mesmas, o que obriga a gastos elevados. Todavia existem cidades que estão a alterar este paradigma. Alguns casos de estudo demonstram que a contribuição de água reciclada, dessalinizada e aproveitamento das águas pluviais, permitem aumentar até 80% a autossuficiência das cidades (Rygaard, Binning, & Albrechtsen, 2011). Uma das situações apontadas para a dificuldade de implementação destas medidas é a população não ser apologista de consumir água proveniente de tratamentos de reciclagem. A saúde pública também pode ser colocada em causa, necessitando de uma apertada legislação e controlo permanente de qualidade, questões que a UE tem padronizado nas diretivas comunitárias 75/440/CEE e 79/869/CEE.

A relutância das populações leva a que os estudos das coberturas verdes na questão hídrica recaiam sobre a atenuação dos picos de cheia. Os escoamentos nas coberturas verdes podem registar uma retenção de 85% para eventos de pluviosidade ligeira onde praticamente toda a

água fica acumulada no substrato e vegetação, até um retardamento superior a 30 minutos para eventos de pluviosidade elevada (Teemusk & Mander, 2007). De acordo com (Mentens, Raes, & Hermy, 2006) o grande benefício das coberturas verdes é a atenuação inicial do pico de cheia como se verifica na Figura 5.1.

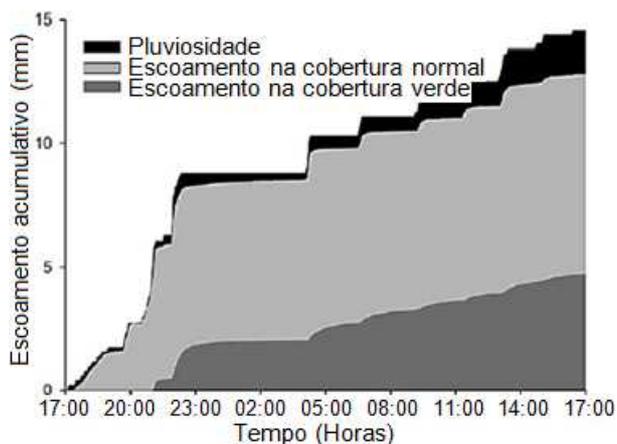


Figura 5.1 - Comparação dos escoamentos para duas coberturas (uma sem cobertura verde e uma com cobertura verde); adaptado de (Mentens, Raes, & Hermy, 2006).

Estudos indicam que no inverno a cobertura verde é menos eficiente que no verão. Isto deve-se a na estação mais fria, o solo da cobertura verde ter maior percentagem de água e consequentemente menor capacidade de retenção das águas pluviais. Tal como foi indicado no subcapítulo 3.1.2., é relevante ter um sistema que permita o escoamento da água que se possa acumular acima da cobertura verde, devido a processos de colmatação e/ou entupimento. Desta forma evita-se uma sobrecarga excessiva devido ao peso adicional da água acumulada. Esta problemática tem suscitado investigações no sentido de encontrar soluções para melhorar a camada de drenagem da cobertura verde. A borracha proveniente da reciclagem dos pneus dos automóveis é uma das inovações nesta área e tem tido resultados experimentais convincentes (Vila, Pérez, Solé, Fernández, & Cabeza, 2012).

As chuvas ácidas são um problema em algumas cidades e nesta área as coberturas verdes intensivas têm uma influência significativa ao aumentarem de 5 para 7,5 o pH (Berndtsson, Bengtsson, & Jinno, Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs, 2009). Deste modo evita-se parte do tratamento das águas pluviais, nas ETAR, por exemplo, devido ao baixo valor de pH. Permite também que o aproveitamento possa ser canalizado para regas e lavagens sem afetar equipamentos e tubagens.

A gestão hídrica das cidades carece de planeamento cuidado e monitorização periódica de modo a ser mais eficiente. Em alguns sectores podem ser implementadas coberturas verdes como medida de mitigação de vários efeitos (atenuação e retardamento de picos de cheia, filtragem de águas pluviais). Cada cidade tem características próprias, logo a escolha das coberturas verdes carece de um estudo atempado e acompanhado de modo a otimizar o funcionamento das mesmas como medida de mitigação. Só posteriormente se deve avançar para a regulamentação que permita generalizar a construção de coberturas verdes. Se não for seguido este planeamento, corre-se o risco de adotar um sistema que não responda às necessidades desejadas.

A chamada de atenção para se efetuarem estudos específicos para uma determinada zona e monitorizar os mesmos, deve-se às diferenças significativas registadas em diversos estudos (Berndtsson, Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review, 2010). Alguns exemplos destas incongruências são verificados nas medições de escoamentos, onde se apontam retenções de 2,1% da pluviosidade que atinge a cobertura (Mentens, Raes, & Hermy, 2006) chegando-se a 4,4% noutros estudos (Spolek, Johnson, & Beck, 2011). Outros casos chegam mesmo a ser retrógrados, como é o caso da influência da inclinação da cobertura na retenção das águas pluviais. Alguns estudos indicam que não existe influência (Villarreal & Bengtsson, 2005) outros referem o contrário (Andresen, Rowe, & Getter, 2007).

É importante reiterar que a veracidade dos estudos não está a ser colocada em causa, apenas se indica que mediante certas condições se podem obter diferentes resultados. Na gestão hídrica de uma cidade deve ter-se em conta qual o objetivo pretendido para as coberturas verdes e desse modo construir as mesmas com as características que maximizem os efeitos desejados.

5.4. Influência das fachadas verdes na gestão hídrica das cidades

Não foram encontrados estudos relativos a fachadas verdes que influenciasses os picos de cheia que ocorrem nas cidades. Todavia é uma realidade que diferentes tipos de vegetação permitem acomodar quantidades significativas de água na sua folhagem (Schroll, Lambrinos, Righetti, & Sandrock, 2011) contudo, só após ensaios experimentais será possível obter conclusões precisas.

No âmbito da purificação das águas, o sistema BABYLON, patenteado pelas empresas ASEPMA e Vivers Ter S.A. é o mais avançado atualmente; consiste num tratamento de depuração e regeneração de águas cinzentas e/ou pluviais com o objetivo principal da sua reutilização (ASEPMA, 2006). Para tal utiliza as fachadas verdes como bio filtro. Usualmente a bio filtração implica amplos espaços, que nas cidades têm custos elevados. Esta solução, ainda em fase piloto, não tem este problema devido a ser aplicada nas fachadas mas pode revelar-se um importante avanço na gestão das águas cinzentas e pluviais se os estudos assim o comprovarem.

5.5. Novas abordagens na legislação

A nível internacional países como Alemanha, EUA, Austrália, Índia, entre outros já possuem legislação sobre o aproveitamento das águas pluviais. Portugal ainda não tem legislação propriamente dita mas já existem abordagens inovadoras neste sentido, e algumas premeditadas há algum tempo. É o caso de:

- Resolução da Assembleia da República nº 5/2011 – “Recomenda ao governo que adote as medidas necessárias para implementar definitivamente o PNUEA, que

aguarda pela sua implementação desde o ano de 2001, e se promova a sua conciliação com os planos diretores municipais” (dre.pt).

- Resolução da Assembleia da República nº 10/2011 – “Recomenda ao governo que tome a iniciativa de prever a construção de redes secundárias para abastecimento de água” (dre.pt).

Estas duas resoluções permitem antever que no futuro o nosso país também terá soluções para aproveitamento de águas pluviais contempladas na legislação. A recomendação de prever redes secundárias tem o objetivo de aproveitar as “...águas pluviais em edifícios, instalações e equipamentos públicos de grande dimensão, tendo em vista a sua utilização para usos e fins não potáveis, no sentido de se obterem ganhos ambientais, energéticos e económicos” (Resolução da Assembleia da República nº10/2011).

6. Caso de estudo

6.1. Considerações iniciais

A Iniciativa Construção Sustentável desenvolve atividades de formação que possuem componente teórica e componente prática. No âmbito do caso de estudo foram frequentados dois cursos (Prosperidade Renovável – Coberturas Vivas I e II). Este capítulo divide-se em três partes. Uma referente à construção da cobertura verde, outra explica e analisa os dados da monitorização da mesma (Figura 6.1) e no final são analisadas as problemáticas referentes à implantação das coberturas e fachadas verdes em Portugal.



Figura 6.1 - Cobertura viva da LPN.

6.2. Construção da cobertura viva

A infraestrutura escolhida para a implantação da cobertura viva é a sede e centro de formação ambiental da LPN, situado na estrada do calhariz de Benfica, em Lisboa, perto de Monsanto, assinalado com a letra A na Figura 6.2 e ilustrada na Figura 6.3.

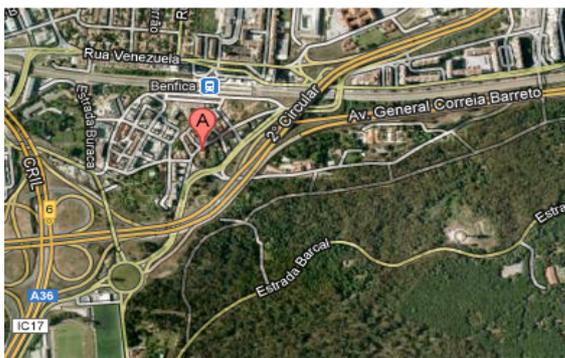


Figura 6.2 – Localização da sede da LPN (Google). Figura 6.3 – Fachada da sede da LPN.

A cobertura viva tem uma área de 14 m² e a sua estrutura tem como base uma laje de betão armado. A superfície de acabamento tem na sua constituição uma camada de betonilha leve de regularização para a criação de pendente. Estas duas superfícies já se encontravam executadas, sendo utilizada a zona como terraço.

As datas disponíveis para a construção da cobertura verde estiveram dependentes dos instaladores e dos formandos dos cursos - só possível aos sábados; logo todo o processo de instalação teve de ser espaçado de uma semana entre fases construtivas.

6.2.1. Instalação da membrana de impermeabilização

A primeira camada instalada foi a manta de geotêxtil a 15 de outubro de 2011. Tem a função de evitar a rotura da camada de impermeabilização por pontos angulosos (Figuras 6.4 e 6.5).



Figura 6.4 – Zona inferior da porta de acesso à cobertura.



Figura 6.5 – Pormenor construtivo de um canto da cobertura antes da membrana ser colada.

A membrana de impermeabilização foi instalada pela empresa Imperialum e é constituída por PVC. O processo de aplicação baseia-se em colocar a membrana sobre a área que se pretende impermeabilizar e nas zonas de sobreposição de membranas aplica-se um jacto de ar quente que efetua a colagem. As paredes de contorno têm a membrana até 40 cm de altura.

As zonas correntes (Figura 6.6) não necessitam de tratamento específico, enquanto as singularidades como cantos (Figura 6.7), zona do tubo de queda (Figura 6.8) e zona da porta de acesso (Figura 6.4 e Figura 6.9), requerem uma pormenorização detalhada.

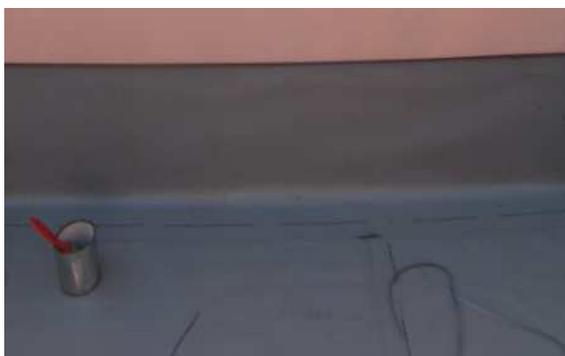


Figura 6.6 – Zona corrente da cobertura (contorno da parede).



Figura 6.7 – Singularidade da cobertura antes de finalizada (canto).



Figura 6.8 – Singularidade da cobertura antes de finalizada (zona do tubo de queda).



Figura 6.9 – Singularidade da cobertura antes de finalizada (zona da porta de acesso).

O tratamento das singularidades é importante, devido à existência de cortes na membrana para possibilitar a execução dos contornos. Deste modo, aumenta-se a probabilidade de não verificar a estanquidade devido a estas zonas. Neste caso de estudo foram aplicadas peças próprias, provenientes da empresa Imperialum, semelhantes à membrana de impermeabilização, mas com uma rede de fibras resistentes no interior. A instalação da camada de impermeabilização decorreu durante todo o dia.

O aspeto final da cobertura não revela empolamentos nem cortes na membrana de impermeabilização. Caso se pretenda efetuar testes de estanquidade ou instalar sensores de monitorização, tal deve ocorrer seguidamente a esta fase. A realização destes testes, no caso de estudo, não ocorreu devido à impossibilidade de inserir esta verificação no planeamento. Quanto aos sensores de monitorização, não se encontravam disponíveis nesta data para proceder à sua instalação. As Figuras 6.10 a 6.13 ilustram a finalização dos trabalhos da membrana de impermeabilização.



Figura 6.10 – Zona inferior da porta de acesso à cobertura (aspeto final).



Figura 6.11 – Zona de contornos da parede (aspeto final).



Figura 6.12 – Zona do tubo de queda (aspeto final).



Figura 6.13 – Canto da cobertura (aspeto final).

6.2.2. Instalação do isolamento térmico

No dia 22 de outubro de 2011 procedeu-se à instalação do isolamento térmico. O material utilizado foi poliestireno expandido da empresa Esferovite SA e está disponível em placas de 5 e 10 cm de espessura e foi instalado sobre a membrana de impermeabilização (Figura 6.14). Os formandos auxiliaram no transporte para a cobertura e colocação dos materiais. A colocação das placas e os cortes estava a cargo de um especialista na área da construção civil.

As zonas adjacentes às portas de acesso e do sótão da LPN tiveram um acabamento específico (Figura 6.15). A finalidade deste acabamento é o suporte das cargas provenientes das visitas e dos trabalhadores da LPN para a manutenção da cobertura viva. Na parte superior do isolamento térmico colocou-se outra manta geotêxtil, desta vez com uma função diferente. Os materiais que seriam colocados sobre o poliestireno expandido poderiam reagir com este, logo a manta funciona como barreira química (Figura 6.16).

Devido a contratempos climatéricos e com a chegada dos materiais, não foi possível instalar as restantes camadas (material de drenagem e substrato vegetal) na data indicada (29 de Outubro de 2011). A necessidade de colocar alguma carga sobre a cobertura era essencial, na medida de prevenir que o isolamento térmico saísse da posição devido a ventos. A solução encontrada foi a colocação de lajetas combinadas com garrafões de água. Esta última opção é útil, uma vez que são facilmente manobráveis, e se não forem mais necessários, basta escoar a água pelo tubo de queda (Figura 6.17).



Figura 6.14 – Placas de isolamento térmico com 10cm de espessura.



Figura 6.15 – Zona adjacente à porta de acesso com placas de 5cm de espessura.



Figura 6.16 – Zona adjacente à porta de acesso com placas de suporte.



Figura 6.17 – Cobertura com o isolamento térmico e manta geotêxtil.

6.2.3. Instalação do substrato vegetal

A terceira sessão prática do curso ocorreu a 26 de novembro de 2011 devido à indisponibilidade dos materiais e às condições climatéricas. Primeiro revestiu-se a zona das paredes que tinha a membrana de impermeabilização exposta aos raios UV (Figura 6.18). O material de revestimento consiste num agregado de borracha, aplicado com silicone diretamente sobre a zona a proteger.

A cobertura tem duas portas, uma de acesso, mais utilizada, e outra que liga ao sótão da LPN, sendo esta raramente utilizada. Deste modo, optou-se por colocar alguns ladrilhos mais leves na zona adjacente à porta do sótão, uma vez que será menos solicitada (Figura 6.19).



Figura 6.18 - Aplicação do revestimento na membrana da parede.



Figura 6.19 - Ladrilhos na zona adjacente à porta do sótão.

Ao mesmo tempo que era aplicado o revestimento, preparou-se um sistema de dreno. O reaproveitamento de uma cesta de plástico, envolvida por manta geotêxtil, permitiu chegar a uma solução (Figura 6.20). Seguidamente procedeu-se à instalação do dreno na cobertura e ao enchimento do mesmo com material grosseiro para evitar acumulação de resíduos (Figura 6.21).

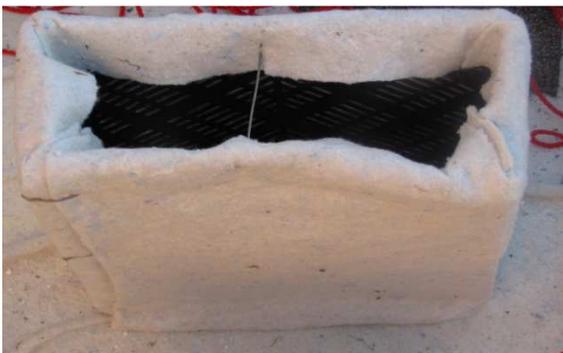


Figura 6.20 - Solução de dreno.



Figura 6.21 - Instalação do dreno.

A segunda parte dos trabalhos consistiu em instalar a camada de retenção e drenagem das águas. O material utilizado é espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados, sendo o seu nome comercial "VYDRO" (Figura 6.22). O material vem em rolos para facilitar a instalação. Este material é sensível aos raios UV, logo deve ser totalmente coberto pela camada de substrato vegetal. O local para o sensor de monitorização foi marcado para permitir a posterior instalação do mesmo (Figura 6.23). No caso de estudo utilizaram-se rolos com a espessura de 10 cm, que de acordo com os dados técnicos (VYDRO), permite retardar até 60 (l/m²) com uma carga de 0,5 Kpa (Figura 6.24). Os compostos do material não são irritáveis à pele nem tóxicos para o meio ambiente. Estas características possibilitam o reaproveitamento das águas sem necessidade de tratamentos intensivos.



Figura 6.22 – Instalação dos rolos de espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados.

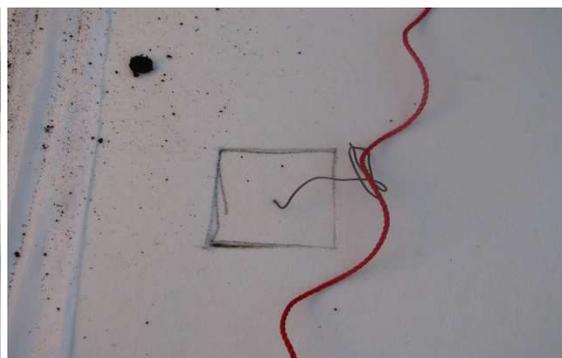


Figura 6.23 – Marcação do local para futura instalação do sensor de monitorização.

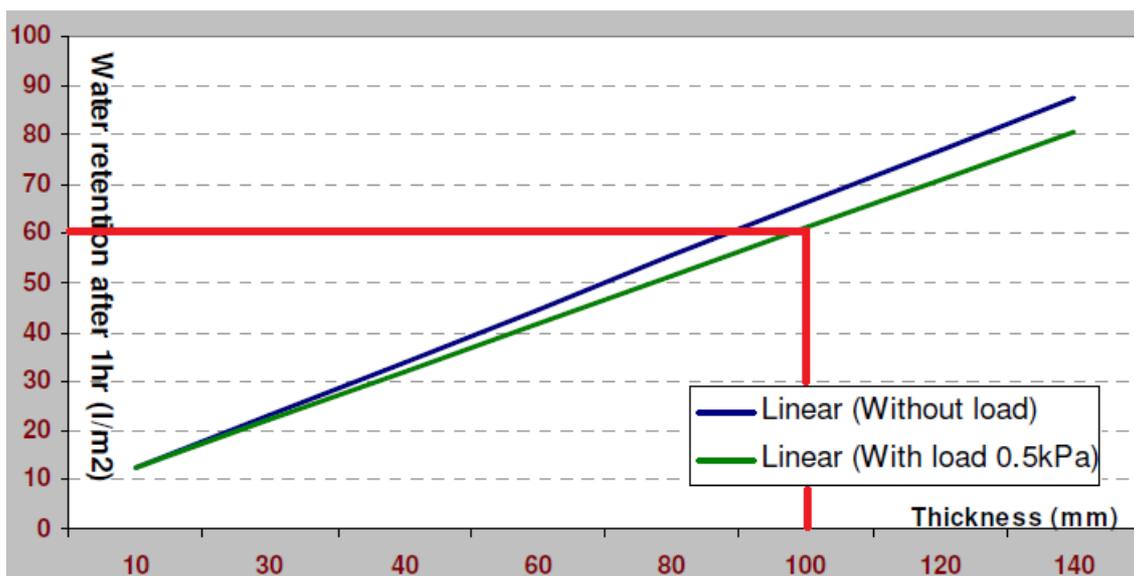


Figura 6.24 – Gráfico ilustrativo da capacidade de retenção da espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados; adaptado de (VYDRO).

A finalização dos trabalhos necessitou da colocação do substrato na cobertura. O método utilizado foi a elevação de baldes com o substrato recorrendo à força humana com auxílio de uma corda (Figura 6.25).

Um pormenor executado para facilitar o escoamento das águas, consistiu na colocação de material grosseiro na zona de acumulação de águas para o dreno (Figura 6.26).



Figura 6.25 – 2ª equipa a colocar o substrato na cobertura.



Figura 6.26 – Material grosseiro na zona de escoamento da cobertura que dirige a água para o dreno.

As zonas adjacentes às duas portas estão revestidas com lajetas e ladrilhos e não está previsto terem substrato. O modo de sustentação de terras utilizado consistiu em reutilizar os garraões de água com ladrilhos elevados (Figuras 6.27 e 6.28), até chegarem as placas de suporte indicadas para o efeito.



Figura 6.27 – Contenção da cobertura viva na zona adjacente à porta de acesso.



Figura 6.28 – Contenção da cobertura viva na zona adjacente à porta do sótão da LPN.

A plantação, instalação do sistema de rega e trabalhos de manutenção estão a cargo da LPN. O sistema instalado na cobertura viva da LPN foi esquematizado pelo Sustainable Construction Living Lab e validado individual e coletivamente pelos membros do grupo de trabalho Reabilitação de Coberturas (Figura 6.29).

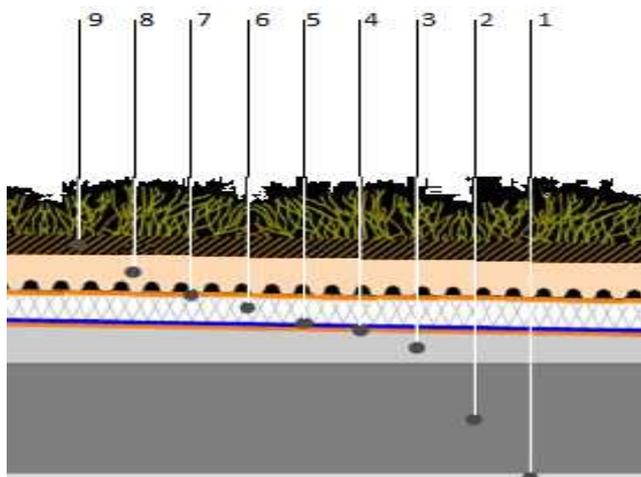


Figura 6.29 – Esquema ilustrativo da cobertura viva da LPN; adaptado de (Construçõesustentavel).

Legenda:

- 1 – Acabamento interior;
- 2 – Laje de betão armado;
- 3 – Camada de betonilha leve;
- 4 – Manta geotêxtil;
- 5 – Membrana de impermeabilização;
- 6 – Placas de poliestireno expandido (10cm);
- 7 – Manta geotêxtil;
- 8 – Rolos de espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados (10cm) (camada drenante);
- 9 – Substrato vegetal (mínimo 10cm).

6.3. Monitorização e análise da cobertura viva

A 31 de março de 2012 foi possível visitar a cobertura viva da LPN com os sistemas de rega e monitorização instalados. O tratamento e divulgação dos dados estão a cargo de especialistas da LPN. No decorrer do segundo curso foram expostos alguns resultados práticos, ilustrados na Figura 6.30.

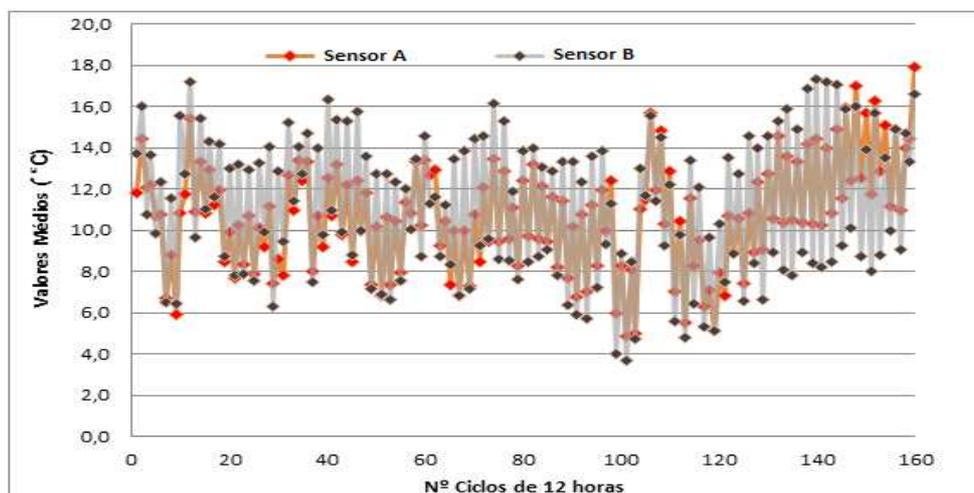


Figura 6.30 – Gráfico da temperatura registada do sensor instalado sobre o isolamento térmico (Sensor A, a castanho) e da temperatura atmosférica registada a dois metros de altura do substrato (Sensor B, a cinzento) (Curso Prosperidade Renovável, 2012).

No caso de estudo, a monitorização começou a ser executada em janeiro de 2012, com registos a cada dez minutos. O tratamento dos dados resulta no valor médio por cada ciclo de doze horas, simulando os dias e as noites. Na Figura 6.30 estão ilustrados os primeiros cento e sessenta ciclos (equivalente a oitenta dias) com os correspondentes valores médios das temperaturas registadas. Estes valores foram registados desde o início da monitorização até ao dia 31 de março de 2012. A adoção deste tratamento de dados em ciclos tem por objetivo facilitar a leitura gráfica dos resultados.

A análise dos resultados das amplitudes térmicas, registados na Figura 6.30 e explanados no anexo A e B, permite observar o seguinte:

- Em doze ciclos as temperaturas médias máximas (a vermelho no anexo A) foram superiores no sensor A e em vinte e três ciclos as temperaturas médias mínimas (a azul no anexo A) foram inferiores no sensor A, quando comparadas com os resultados do sensor B;
- Os cálculos das amplitudes térmicas (diferença em valor absoluto entre a temperatura de um ciclo e o imediatamente a seguir, para o mesmo sensor) registam que em seis casos (indicados a vermelho no anexo B), a cobertura verde teve valores superiores que o ambiente exterior.

A amplitude térmica máxima entre a cobertura verde e o meio exterior foi de 5,57 °C, identificada a verde no anexo C, enquanto a amplitude térmica mínima é de -0,77°C. Nos dados registados, a média das amplitudes térmicas é de 2,49°C.

6.4. A problemática da implantação das coberturas e fachadas verdes em Portugal

No decorrer do caso de estudo, foram identificados alguns obstáculos existentes à implantação de coberturas verdes em Portugal. Este subcapítulo identifica os potenciais problemas que se verificaram e apresenta soluções para os neutralizar ou atenuar.

Um obstáculo que se levanta é a falta de mão-de-obra qualificada para executar projetos específicos de coberturas e fachadas verdes, tanto ao nível da conceção do projeto como da implantação do mesmo. As áreas de especialidade necessárias vão desde a arquitetura e a engenharia civil à botânica. Tal facto, implica uma equipa polivalente de técnicos especializados. Este fator incrementa por si só, o custo das coberturas e fachadas verdes.

A legislação pode revelar-se também um problema de difícil resolução. É possível que ocorram situações, nas quais, a implantação de coberturas e fachadas verdes não sejam autorizadas ou sejam bastante limitadas. Esta situação deve-se a regulamentação e legislação desadequadas. A solução para este problema passa por criar grupos de trabalho que demonstrem aos órgãos responsáveis que existem medidas a implementar, apresentando estudos e trabalho de campo. Pelo que foi apresentado anteriormente, existem alguns diplomas que alertam para a necessidade de alterar e melhorar os regulamentos existentes.

A implantação de coberturas e fachadas verdes na ótica da reabilitação pode revelar-se complicada e mesmo desadequada em alguns casos. A degradação do parque imóvel de Portugal é elevada em algumas zonas e não permite suportar mais carga, nem tem acessibilidades adequadas. Assim, existem problemas de reabilitação de estruturas que devem ser primeiramente resolvidos. Uma solução possível é a que já se encontra em curso em diversas zonas do País nos apoios à reabilitação urbana. Seria desejável que em alguns desses projetos fossem implementadas coberturas e fachadas verdes, com equipas de trabalho polivalentes, logo desde a fase de projeto.

O problema da manutenção pode revelar-se uma situação com elevado grau de complexidade no âmbito das coberturas e fachadas verdes. A não manutenção dos espaços verdes, leva a entupimento de tubagens, crescimento excessivo ou ausência dele nas plantas, podendo criar riscos de incêndio. Nas coberturas e fachadas verdes o mesmo acontece, no que se refere às habitações e ao interior das cidades. Uma cobertura totalmente seca pode representar um risco elevado de incêndio, que até então, não era contemplado. A solução passa por alterar as questões relacionadas com a manutenção dos edifícios. A postura preventiva é importante e essencial para o bom funcionamento de todos os imóveis. A legislação deve ser adequada para evitar que uma cobertura e/ou fachada verde possa tornar-se num risco para os habitantes por ausência de manutenção.

7. Conclusões

Com esta dissertação pretendeu-se caracterizar as coberturas e fachadas verdes de acordo com os sistemas construtivos existentes, analisar as componentes térmica e hídrica das mesmas e apresentar o caso de estudo executado.

Neste sentido, concluiu-se que a melhor solução para a abordagem ao tema das coberturas e fachadas verdes passa pela utilização de uma abordagem dinâmica, flexível, contínua e auto corrigível.

Para tal foi feito inicialmente um enquadramento teórico sobre as coberturas e fachadas verdes, onde foram apresentados exemplos, caracterizando os mesmos. Uma análise à legislação e regulamentação permitiu identificar os faseamentos que os países mais desenvolvidos na implantação de coberturas e fachadas verdes utilizaram. A regulamentação e legislação devem ser versáteis devido à elevada diversidade de variantes como o clima, aspetos culturais, capacidades monetárias e tipologias diversificadas dos edifícios. No capítulo dos sistemas construtivos são primeiramente identificadas as classificações das coberturas verdes:

- Extensivas;
- Semi-Intensivas;
- Intensivas.

As fachadas verdes ainda não têm uma classificação específica como as coberturas, todavia a gama de sistemas construtivos é ampla e variada.

Apresentados os sistemas construtivos, analisou-se a componente térmica das coberturas e fachadas verdes. Neste ponto foram identificados os diplomas regulamentares que abordam as questões térmicas a nível nacional. Seguidamente identificaram-se os processos de transmissão do calor para perceber o modo de funcionamento das coberturas e fachadas verdes, a nível térmico. Foi então possível identificar os seguintes aspetos:

- Alguns estudos já efetuados internacionalmente, identificam a existência dos três fenómenos de transmissão do calor, tanto nas coberturas como nas fachadas verdes;
- As coberturas e fachadas verdes, evitam que a radiação solar incida diretamente na estrutura, atenuando a transmissão de calor;
- A condução está maioritariamente presente nas coberturas verdes, nas zonas do substrato e inferiores; quanto menor condução do calor existir, melhor a eficiência térmica verificada. Nas fachadas verdes, este processo ocorre quando se tem painéis robustos junto das paredes da estrutura;
- A convecção está presente no substrato das coberturas verdes por meio da água e do ar existentes. Contudo a sua influência significativa regista-se ao nível da zona aérea das plantas, tanto nas coberturas como das fachadas verdes. O fluido que possibilita toda a ocorrência do processo é o ar presente entre as plantas;

- A investigação na componente térmica indica que as coberturas e fachadas verdes contribuem para atenuar as amplitudes térmicas verificadas nos edifícios, quando comparadas com as do exterior. A melhoria da eficiência energética corresponde na generalidade dos casos à redução de custos com a climatização dos edifícios.

A atenuação dos picos de cheias em meio urbano é uma realidade em algumas cidades (como Portland, nos EUA) através da utilização de coberturas verdes. Existe legislação específica para o efeito e os resultados têm sido monitorizados pelo próprio município. A gestão hídrica das cidades é complexa e as alterações climáticas podem desencadear situações extremas. A capacidade de atenuar os efeitos de inundações por meio das coberturas verdes está comprovada em diversos trabalhos de investigação. A qualidade das águas pluviais também é melhorada quando filtrada pelo substrato vegetal, permitindo a redução de adição de químicos nas ETAR ou possibilitando o reaproveitamento para regas e lavagens.

A legislação atual em Portugal ainda não está adaptada para reaproveitar as águas residuais, mas a existência de diplomas específicos para a instalação de redes secundárias de abastecimento de água, revela a preocupação dos governantes com a gestão hídrica. Nesta ótica, as fachadas verdes podem ter um papel de filtragem das águas residuais, permitindo redução de infraestruturas de tratamento e de adição de químicos ao nível do solo.

O caso de estudo possibilitou analisar diversos aspetos relevantes, na construção de coberturas verdes:

- A mão-de-obra especializada, a importância das acessibilidades e a multidisciplinaridade das equipas são fatores importantes para a boa execução de uma cobertura verde;
- A monitorização revela-se essencial para a otimização de resultados e melhoria das soluções implementadas;
- No que concerne à manutenção periódica, a constituição de um manual técnico revela-se fundamental para a possibilidade de manter o bom estado da cobertura por pessoal não especializado.

A cobertura verde deve permitir um comportamento térmico adequado às necessidades dos seres humanos. A temperatura de conforto no interior das habitações situa-se entre vinte e dois e vinte e quatro graus centígrados. Isto significa que as coberturas verdes devem funcionar do seguinte modo:

- Se a temperatura exterior é significativamente superior ao valor padrão de conforto, então as coberturas verdes devem possibilitar que o interior das habitações se mantenha a temperaturas inferiores à exterior;
- Se a temperatura exterior é significativamente inferior ao valor padrão de conforto, então o objetivo é evitar que o calor do interior do edifício passe para o exterior.

No caso de estudo existem pontos em que a cobertura verde não tem o comportamento desejado, logo não deve ser utilizado como isolamento térmico. Esta situação pode dever-se à realização da evapotranspiração da camada vegetal. Tal fenómeno deve ser analisado por especialistas de modo a confirmar este facto ou a rejeitar o mesmo na procura da justificação

para esta ocorrência. Outra possibilidade contempla a rega, ou a falta da mesma. A presença de água em abundância, nas camadas vegetal e drenante, aumenta a condutibilidade térmica, o que é prejudicial nas situações em que se pretende evitar perdas de calor para o exterior. Todavia quando o objetivo é evitar a transmissão do calor exterior para o interior, a evapotranspiração tem um papel relevante, pelo que, a presença de água é necessária. No âmbito da atenuação das amplitudes térmicas, os resultados indicam que, em média, a camada de substrato vegetal utilizada, permite a atenuação de 2,49°C. Nesta situação, admite-se que a cobertura verde aumenta a eficiência energética do edifício, uma vez que, possibilita atenuar os picos térmicos registados no exterior.

Em suma, é possível construir uma cobertura verde com acesso limitado a materiais, desde que se possua uma equipa multidisciplinar com experiência devendo, sempre que possível, monitorizar os resultados e analisar os mesmos em conjunto.

É neste seguimento que o subcapítulo da implantação das coberturas e fachadas verdes em Portugal apresenta quatro das potenciais dificuldades a resolver antes de se avançar na construção propriamente dita. Algumas ilações podem ser retiradas da análise destas dificuldades de implantação:

- As empresas construtoras necessitam de ter nos quadros mão-de-obra qualificada;
- O complemento das coberturas e fachadas verdes na reabilitação pode ser efetuado alterando os objetivos e os estudos realizados nos diversos programas regulamentares existentes;
- As autarquias devem possuir nos quadros orgânicos pessoal especializado para a fiscalização de coberturas e fachadas verdes de modo a verificar se as condições legais estão a ser cumpridas;
- Manuais técnicos especializados devem ser criados possibilitando o aumento do conhecimento na área das coberturas e fachadas verdes;
- A manutenção pode ser executada por mão-de-obra sem especialização desde que existam guias técnicos específicos.

Neste contexto conclui-se que a adoção de coberturas e fachadas verdes em Portugal seria uma medida com benefícios para todos os escalões e instituições que estão direta ou indiretamente relacionados, por vários motivos:

- As coberturas e fachadas verdes apresentam diversas formas de incrementar a qualidade de vida nas cidades (aumento de espaços verdes, possibilidade de melhoria da eficiência energética dos edifícios e mitigação do efeito ilha de calor, melhoria da qualidade do ar e da biodiversidade da fauna e flora, atenuação dos picos de cheia e possibilidade de reaproveitamento das águas residuais);
- A fomentação da criação de postos de trabalho diretos e indiretos é uma realidade para todos os escalões, sejam especialistas, projetistas, fiscalizadores, instaladores e empresas de construção;

- A atenuação dos gases poluentes nos meios urbanos é uma situação com interesse para todos os habitantes da zona em causa. As coberturas e fachadas verdes são sumidouros de carbono naturais que possibilitam a prevenção de doenças do sistema cardio respiratório, associadas à vida nas grandes metrópoles.

Uma dificuldade identificada no decorrer da elaboração do estudo foi a obtenção de estudos específicos e abrangentes dos impactos económicos que as coberturas e fachadas verdes possibilitam. Todo o sistema deve ser analisado globalmente, e desta forma a redução da fatura energética, associada às melhorias de qualidade de vida e consequentemente a redução dos gastos das autarquias nas diversas áreas são difíceis de quantificar num único valor.

Por estes motivos, entende-se que futuramente devem ser desenvolvidos estudos nesta área, com investigações e trabalhos que esclareçam as diversas fontes de incerteza das coberturas e fachadas verdes no âmbito térmico e hídrico. Para além dos objetivos estabelecidos, este trabalho pretende simultaneamente incentivar o desenvolvimento de estudos com interesse no aprofundamento do conhecimento desde o projeto, passando pela instalação e terminando na manutenção das coberturas e fachadas verdes.

Bibliografia

- AECweb. (s.d.). *Reportagem: Impermeabilização, um bem necessário*. Obtido em Setembro de 2012, de <http://www.aecweb.com.br>
- Águas de Portugal. (s.d.). Obtido em Janeiro de 2012, de <http://www.adp.pt>
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 480-493.
- Amorim; IST;Sofalca. (s.d.). *Isolamento Térmico com Cortiça*. Obtido em Setembro de 2012, de Construlink: <http://construlink.com>
- Andresen, J. A., Rowe, D. B., & Getter, K. L. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 225-231.
- APA. (Outubro de 2008). Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.apambiente.pt>
- APEMIP, G. d. (2012). Classe C predomina na certificação energética. *Expresso - Caderno Espaços & Casas*, 5.
- Arkitektkontoret GASA AS. (2008). Obtido em Dezembro de 2011, de GASA AS: <http://www.gasa.no>
- Arkous, *arquitetura e construção*. (s.d.). Obtido em Julho de 2012, de <http://www.arkous.com.br>
- Artimestieri Bioedilizia. (2010). Obtido em Setembro de 2012, de Yourhouseinaclick: <http://www.lacasainunclick.com>
- ARUP. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://www.arup.com>
- ASEPMA. (2006). Obtido em Agosto de 2012, de ASEPMA: <http://www.asepma.com>
- Auckland. (1998). Obtido em Agosto de 2012, de <http://www.coletivoverde.com.br>
- Banting, D., Doshi, H., Li, J., Missios, P., Au, A., Currie, B. A., et al. (2005). *Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto*.
- Barrio, E. P. (1997). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings*, 179-193.
- Bauen, L. P., & Richard, B. G. (1990). *The Biotope Area Factor - Principles for Its Determination and Identification of the Target*. Berlim.
- Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 351-360.
- Berndtsson, J. C., Bengtsson, L., & Jinno, K. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 369-380.
- Blanc, P. (s.d.). Obtido em Fevereiro de 2012, de The Vertical Garden - A Scientific and Artistic approach: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>
- California Academy of Sciences. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2011, de California Academy of Sciences: <http://www.calacademy.org>
- Carson Dunlop Associates . (2009). *InspectAPedia.com*. Obtido em Setembro de 2012, de Built-Up Roofing Types, Product Sources, Installation, Defects, Repairs: <http://inspectapedia.com>

Center for Resilience. (Março de 2003). Obtido em Dezembro de 2011, de Center for Resilience - The Ohio State University : <http://resilience.osu.edu/CFR-site/index.htm>

Centro Cultural de Belém. (s.d.). Obtido em Janeiro de 2012, de <http://www.ccb.pt>

Cesel - Eclaws. (s.d.). Obtido em Setembro de 2012, de <http://www.cesel-eclaws.eu>

City Council. (2005). City of Portland Green Building Policy.

City Council. (2008). Facility Design. *City of Portland Stormwater Management Manual*, Chapter 2.

Cleveleys. (Abril de 1999). Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.cleveleys.co.uk>

Cloos, I. (s.d.). A project celebrates its 25th birthday. *The Landscape Programme including Nature Conservation for the City of Berlin*.

Clorofila. (s.d.). Obtido em Janeiro de 2012, de <http://clorofilatotal.pt>

Clorofila. (2011). *Workshop de Jardins Verticais* (p. 3 horas de formação). Lisboa: Associação dos Amigos do Jardim Botânico da Ajuda.

CMHC. (2006). *Green Roofs - A Resource Manual for Municipal Policy Makers*. CMHC.

Construção Sustentável. (2008). Obtido em Novembro de 2011, de <http://www.construcaosustentavel.pt/>

Construção sustentavel. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de <http://construcaosustentavel.pt>

Curso Prosperidade Renovável. (2011). *Coberturas Vivas I*. Lisboa: Iniciativa Construção Sustentável.

Curso Prosperidade Renovável. (2012). *Coberturas Vivas II*. Lisboa: Iniciativa Construção Sustentável.

Davison, J. B., Beck, S. B., Stovin, V., & Castleton, H. F. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 1582-1591.

Dcgreenworks. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://dcgreenworks.org>

Decreto-Lei nº 220/2008. (s.d.). *Diário da República, 1ª Série, 12 de Novembro de 2008*, 7903-7922.

Development, S. D. (2009). *Land Use Plan Berlin*. Berlin.

Dewhurst Industrial. (s.d.). Obtido em Setembro de 2012, de <http://dewhurstindustrialsolutions.co.uk>

Dias, A. (Agosto de 2009). *O relato da sustentabilidade empresarial: práticas em Portugal*. Lisboa, Universidade Aberta.

DOW. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de DOW ROOFMATE SL-A: <http://www.gevohome.com/>

Dow. (s.d.). *Isolamento térmico de coberturas planas invertidas*. Obtido em Setembro de 2012, de Construlink: <http://www.construlink.com>

dre.pt. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de Diário da República Eletrónico: <http://www.dre.pt/>

Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Timber Press.

Ecological Footprint. (2005). Obtido em Novembro de 2011, de Ecological Footprint (Center for Sustainable Economy): <http://myfootprint.org>

Environmental Services. (2009). *Handbook Ecoroof*. Portland.

- Faria, R., & Pedrosa, A. (Maio 2005). Impactos da Urbanização na Degradação do solo urbano e sua relação com o incremento de inundações urbanas em Santa Maria da Feira. *International Symposium in Land Degradation and Desertification*. Uberlândia.
- Feiteira, J. L. (2009). *Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço com base em produtos líquidos ou pastosos*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil (IST).
- Ferraz, R. M., & Forte, F. (Julho de 2010). *Telhados verdes e jardins verticais*. Obtido em Setembro de 2012, de <http://www.uol.com.br/>
- Ferreira, A., & Pedrosa, F. (s.d.). *Projecto de Climatização*. FEUP.
- Freed, R., Garner, G., Kelly, P., Debisingh, S., Peck, S., Irwin, G., et al. (2008). *Introduction to Green Walls - Technology, Benefits & Design*. Green Roofs for Healthy Cities.
- Garden Builders. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de The garden builders - Landscape contractors & Consultants: <http://www.gardenbuilders.co.uk>
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andersen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & Technology* Nº43, 7564-7570.
- Getter, K., Rowe, B., Andresen, J., & Wichman, I. (2011). Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U. S. climate. *Energy and Buildings*, 3548-3557.
- GLOBE Awards. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2011, de GLOBE Awards for Environmental Excellence: <http://www.theglobeawards.ca>
- Google. (s.d.). Obtido em Janeiro de 2012, de Google Maps: <http://maps.google.pt>
- Graff, G. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de Web Urbanist - Local Designs to Global Destinations: <http://weburbanist.com>
- Green Conduct. (Dezembro de 2007). *Sustainability and Society in Focus*. Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.greenconduct.com>
- Green Grid. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://greenroof.agsci.colostate.edu>
- Green Roof Blocks. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Green Paks: <http://greenroofblocks.com>
- Greenroofs. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.greenroofs.com>
- Gulbenkian. (s.d.). Obtido em Janeiro de 2012, de <http://www.gulbenkian.pt>
- He, H., & Jim, C. (2010). Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecological Modelling*, 2949-2958.
- Homedit. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de Homedit - Interior design & architecture: <http://www.homedit.com>
- IGRA. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://www.igra-world.com>
- ILD. (Julho de 2008). *Rooftech Enterprises*. Obtido em Setembro de 2012, de New MSOE Museum has rooftop Sculpture Gargen: <http://rooftechent.com>
- Imperialum; Discoverdi. (s.d.). *Catálogo - Coberturas Verdes*. Lisboa: Centro de Investigação da Fundação Champalimaud.
- INAG. (s.d.). *Instituto da Água, IP*. Obtido em Julho de 2012, de <http://www.inag.pt>

Intemper. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://www.intemper.com>

Intemper. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Projeto de investigação: A açoteia ecológica aligibe e a poupança energética: <http://www.intemper.com>

IUCN. (1980). *World Conservation Strategy - Living Resource Conservation for Sustainable Development*. IUCN-UNEP-WWF.

Jakob. (s.d.). Obtido em Setembro de 2012, de Jakob Rope Systems: <http://www.jakob.ch/>

Lagström, J. (2004). *Do extensive green roofs reduce noise?* Malmö: International Green Roof Institute.

Latif, S. (Abril de 2011). Obtido em Fevereiro de 2012, de <http://www.theedgemalaysia.com>

Leva. (Maio de 2012). *TPO Roofing – single ply flat roof*. Obtido em Setembro de 2012, de Pros and Cons of TPO Roofing: <http://www.tporoofing.org>

Lojas. (s.d.). Obtido em Fevereiro de 2012, de <http://www.lojas.com.pt>

Lusa. (2011). Quercus considera nova ETAR de Alcântara "insuficiente". *Revista Visão*.

Mander, Ü., & Teemusk, A. (2009). Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. *Building and Environment*, 643-650.

Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 217-226.

Merrill, K. G. (2007). *The Oil Crisis of 1973-1974: A Brief History with Documents*. Bedford Series in History & Culture.

Moriyama, M., & Takebayashi, H. (2006). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 2971-2979.

NEOTURF. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de <http://www.neoturf.pt>

Ngan, G. (2004). *Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design*.

Oliveira, P. E., & Ramos, C. (2002). Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus fatores agravantes. *Finisterra*, 33-54.

PE, & CUE. (2000). Diretiva 2000/60/CE. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*.

Peck, S. (Julho de 2012). Obtido em Agosto de 2012, de Viable Commercial Rooftop Agriculture Becoming a Reality: <http://www.greenroofs.org/>

Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 4854–4859.

Piedade, A. C. (2000). *Térmica de Edifícios*. Lisboa: LNEC.

Policy and Finance Committee. (2006). Obtido em Fevereiro de 2012, de Making Green Roofs Happen: <http://www.toronto.ca>

Porciúncula, E. (s.d.). *Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura*. Obtido em Setembro de 2012, de Fórum da Construção: <http://www.forumdaconstrucao.com.br>

Portaria nº 1532/2008. (s.d.). *Diário da República, 1ª série, 29 de Dezembro de 2008.*, 9050-9127.

Portlandonline. (s.d.). Obtido em Fevereiro de 2012, de <http://www.portlandonline.com>

Potsdamerplatz. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de Potsdamerplatz.de: <http://potsdamerplatz.de/en/>

- Resilient City. (2009). Obtido em Novembro de 2011, de ResilientCity.org:
<http://www.resilientcity.org>
- Robèrt, K.-H. (1992). Obtido em Novembro de 2011, de The Natural Step:
<http://www.naturalstep.org>
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C., & Braga, A. M. (2009). *Térmica de Edifícios*. Edições Orion.
- Rosenbaum, M. (2012). Obtido em Agosto de 2012, de Aprenda a fazer a horta de garrafa PET do “Lar Doce Lar”: <http://ciclovivo.com.br>
- Rowe, B., Liu, K. K., Köhler, M., Gaffin, S., Dunnett, N., Doshi, H., et al. (Novembro de 2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57.
- Rowe, D. B., & Getter, K. L. (2006). The role of green roofs in sustainable development. *HortScience* N°41, 1276-1286.
- Rygaard, M., Binning, P., & Albrechtsen, H. (2011). Increasing urban water self-sufficiency: New era, new challenges. *Journal of Environmental Management*, 185-194.
- Safeguardeurope. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://www.safeguardeurope.com>
- Saint-Gobain. (2012). Obtido em Setembro de 2012, de Isover: <http://www.archiexpo.com>
- Schroll, E., Lambrinos, J., Righetti, T., & Sandrock, D. (2011). The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate. *Ecological Engineering*, 585-600.
- Sebassetmanagement. (2011). Berlin’s Potsdamer Platz awarded DGNB Sustainability Certificate. *sebassetmanagement (SEB)*.
- Senate Department for Urban Development and the Environment. (s.d.). Obtido em Fevereiro de 2012, de berlin.de: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de>
- Serôdio, P., & Paulo, P. V. (2010). Coberturas em Terraço. *Aulas da cadeira de Tecnologia da Construção de Edifícios (IST)*. Lisboa.
- Shewaka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). Green facades as a new sustainable approach towards climate change. *Energy Procedia*, 507-520.
- Snodgrass, E. C., & McIntyre, L. (2010). *The Green Roof Manual - A Professional Guide to Design, Instalation, and Maintenance*. Londres: Timber Press.
- Spolek, G. A., Johnson, G. R., & Beck, D. A. (2011). Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. *Environmental Pollution*, 2111-2118.
- Studentaward-middleeast. (s.d.). Obtido em Março de 2012, de <http://www.studentaward-middleeast.com>
- Teemusk, A., & Mander, Ü. (2007). Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. *Ecological Engineering*, 271-277.
- The museum of unnatural mystery. (Março de 2003). Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.unmuseum.org/unmain.htm>
- The VYDRO Effect. (2010). Obtido em Setembro de 2012, de thevydroeffect:
<http://www.huntsman.com>
- Thechallengeseries. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.thechallengeseries.ca>

- TOA Canada. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2011, de TOA Canada Corporation:
<http://www.toacanada.com>
- Toronto Council. (2009). Green Roofs. *Toronto Municipal Code*, Chapter 492.
- Toronto.ca. (s.d.). Obtido em Fevereiro de 2012, de <http://www.toronto.ca>
- Uffelen, C. v. (2011). *FaçadeGreenery - contemporary landscaping*. Braun.
- UNEP. (Junho de 2001). Obtido em Dezembro de 2011, de United Nations Environment Programme: <http://www.unep.org>
- União Europeia. (Setembro de 2006). Obtido em Dezembro de 2011, de European Commission - Climate Action : <http://ec.europa.eu>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2007). *The Millennium Development Goals Report*. United Nations.
- United Nations Population Fund. (2007). *State of World Population - Unleashing the Potential of Urban Growth*. Nova Iorque: United Nations.
- Velazquez, L. S. (2003). Modular Greenroof Technology: An Overview of Two Systems. *Conference, Awards & Trade Show*. Chicago, IL.
- Vila, A., Pérez, G., Solé, C., Fernández, A. I., & Cabeza, L. F. (2012). Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. *Building and Environment*, 101-106.
- Villarreal, E. L., & Bengtsson, L. (2005). Response of a Sedum green roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 1-7.
- VYDRO. (s.d.). Obtido em Agosto de 2012, de Smart water management: <http://www.thevydroeffect.com>
- WMroofing. (2009). Obtido em Setembro de 2012, de WM Services: <http://wmroofing.ca/>
- Workshop - Resiliência Urbana. (24 de Maio de 2012). O ciclo de vida das cidades. Lisboa.
- World Buildings Directory. (s.d.). Obtido em Dezembro de 2011, de <http://www.worldbuildingsdirectory.com>
- Xero Flor. (2003). Obtido em Dezembro de 2011, de Xero Flor: <http://www.xeroflora.com>
- Zhang, Y., Meng, Q., & Feng, C. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*, 959-965.
- Zinco. (2012). *Vertigreen – Facade greening for indoor and outdoor areas*. Obtido em Março de 2012, de <http://www.zinco-greenroof.com>

Anexos

Anexo A: Registos dos dados dos sensores A e B

Tabela 0.1 – Registo das temperaturas médias dos ciclos 1 a 80. Adaptado de:
(Curso Prosperidade Renovável, 2012)

Nº do Ciclo	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)	Nº do Ciclo	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)
1	11,83	13,73	41	10,69	10,97
2	14,46	16,03	42	13,20	15,36
3	12,10	10,77	43	9,78	9,92
4	12,19	13,66	44	12,20	15,29
5	10,67	9,84	45	8,49	8,79
6	10,77	12,36	46	12,37	15,73
7	6,73	6,52	47	9,97	9,98
8	8,81	11,55	48	11,81	13,56
9	5,91	6,44	49	7,36	7,16
10	10,82	15,57	50	10,15	12,76
11	11,73	12,76	51	6,86	6,92
12	15,40	17,21	52	10,66	12,73
13	10,92	9,68	53	7,35	6,64
14	13,31	15,43	54	10,46	12,37
15	10,86	11,01	55	7,94	7,57
16	12,92	14,30	56	11,39	12,00
17	11,20	11,61	57	10,82	10,05
18	11,93	14,15	58	13,34	13,45
19	8,46	8,75	59	10,27	8,75
20	9,90	12,99	60	13,39	14,58
21	7,72	7,81	61	12,66	11,26
22	10,27	13,19	62	12,90	11,61
23	8,32	7,87	63	9,23	8,71
24	10,68	12,93	64	10,44	11,23
25	7,85	7,57	65	7,37	8,36
26	10,14	13,28	66	9,95	13,48
27	9,20	9,91	67	6,84	6,85
28	11,16	14,07	68	10,00	13,82
29	7,42	6,31	69	7,29	7,18
30	8,58	12,85	70	10,79	14,44
31	7,84	9,48	71	8,47	9,28
32	12,70	15,19	72	12,06	14,59
33	10,98	11,44	73	9,44	9,61
34	13,36	14,03	74	13,45	16,11
35	12,42	12,73	75	9,44	8,59
36	13,30	14,72	76	12,88	15,31
37	7,99	7,52	77	9,61	8,53
38	10,71	13,98	78	11,12	11,88
39	9,21	9,76	79	8,24	7,62
40	12,54	16,32	80	12,42	13,84

**Tabela 0.2 - Registo das temperaturas médias dos ciclos 81 a 160. Adaptado de:
(Curso Prosperidade Renovável, 2012)**

Nº do Ciclo	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)	Nº do Ciclo	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)
81	9,69	8,48	121	6,81	7,52
82	13,20	13,99	122	10,71	13,51
83	9,57	8,76	123	8,93	8,89
84	12,11	13,08	124	10,57	12,75
85	9,44	9,07	125	7,44	6,55
86	11,61	12,86	126	10,82	14,55
87	8,22	7,82	127	8,94	8,42
88	11,40	13,33	128	12,35	14,00
89	7,68	6,39	129	9,04	6,64
90	10,19	13,31	130	12,71	14,58
91	6,74	5,93	131	10,59	8,92
92	10,76	12,36	132	14,55	15,29
93	7,04	5,72	133	10,34	8,08
94	11,20	13,57	134	13,58	15,88
95	8,27	7,23	135	10,48	7,81
96	11,96	13,87	136	13,33	14,87
97	9,98	9,34	137	10,38	8,92
98	12,42	11,32	138	14,21	16,83
99	6,01	4,04	139	10,32	8,39
100	8,25	8,85	140	14,41	17,34
101	4,86	3,71	141	10,22	8,24
102	8,06	8,50	142	13,96	17,16
103	5,00	4,72	143	10,85	8,48
104	11,02	12,98	144	14,87	17,06
105	11,45	11,69	145	11,53	9,24
106	15,67	15,57	146	15,94	15,91
107	11,94	11,41	147	12,39	10,11
108	14,80	14,51	148	16,97	16,04
109	10,28	9,26	149	12,53	8,73
110	12,83	12,21	150	15,66	13,88
111	7,00	5,56	151	11,74	8,01
112	10,41	9,77	152	16,25	15,69
113	5,54	4,82	153	12,83	8,77
114	11,54	13,40	154	15,10	13,50
115	8,25	6,47	155	11,19	9,97
116	9,54	12,11	156	14,88	14,91
117	6,29	5,30	157	10,94	9,09
118	7,08	9,63	158	14,00	14,68
119	5,12	5,15	159	14,42	13,30
120	7,97	10,29	160	17,89	16,62

Anexo B: Resultados dos cálculos das amplitudes térmicas dos registos obtidos nos sensores A e B

Tabela 0.1 - Amplitudes térmicas dos ciclos 1 a 80.

Ciclos	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)	Ciclos	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)
			40 -> 41	1,85	5,35
1 -> 2	2,63	2,30	41 -> 42	2,51	4,39
2 -> 3	2,36	5,26	42 -> 43	3,42	5,44
3 -> 4	0,09	2,89	43 -> 44	2,42	5,37
4 -> 5	1,52	3,82	44 -> 45	3,71	6,50
5 -> 6	0,10	2,52	45 -> 46	3,88	6,94
6 -> 7	4,04	5,84	46 -> 47	2,40	5,75
7 -> 8	2,08	5,03	47 -> 48	1,84	3,58
8 -> 9	2,90	5,11	48 -> 49	4,45	6,40
9 -> 10	4,91	9,13	49 -> 50	2,79	5,60
10 -> 11	0,91	2,81	50 -> 51	3,29	5,84
11 -> 12	3,67	4,45	51 -> 52	3,80	5,81
12 -> 13	4,48	7,53	52 -> 53	3,31	6,09
13 -> 14	2,39	5,75	53 -> 54	3,11	5,73
14 -> 15	2,45	4,42	54 -> 55	2,52	4,80
15 -> 16	2,06	3,29	55 -> 56	3,45	4,43
16 -> 17	1,72	2,69	56 -> 57	0,57	1,95
17 -> 18	0,73	2,54	57 -> 58	2,52	3,40
18 -> 19	3,47	5,40	58 -> 59	3,07	4,70
19 -> 20	1,44	4,24	59 -> 60	3,12	5,83
20 -> 21	2,18	5,18	60 -> 61	0,73	3,32
21 -> 22	2,55	5,38	61 -> 62	0,24	0,35
22 -> 23	1,95	5,32	62 -> 63	3,67	2,90
23 -> 24	2,36	5,06	63 -> 64	1,21	2,52
24 -> 25	2,83	5,36	64 -> 65	3,07	2,87
25 -> 26	2,29	5,71	65 -> 66	2,58	5,12
26 -> 27	0,94	3,37	66 -> 67	3,11	6,63
27 -> 28	1,96	4,16	67 -> 68	3,16	6,97
28 -> 29	3,74	7,76	68 -> 69	2,71	6,64
29 -> 30	1,16	6,54	69 -> 70	3,50	7,26
30 -> 31	0,74	3,37	70 -> 71	2,32	5,16
31 -> 32	4,86	5,71	71 -> 72	3,59	5,31
32 -> 33	1,72	3,75	72 -> 73	2,62	4,98
33 -> 34	2,38	2,59	73 -> 74	4,01	6,50
34 -> 35	0,94	1,30	74 -> 75	4,01	7,52
35 -> 36	0,88	1,99	75 -> 76	3,44	6,72
36 -> 37	5,31	7,20	76 -> 77	3,27	6,78
37 -> 38	2,72	6,46	77 -> 78	1,51	3,35
38 -> 39	1,50	4,22	78 -> 79	2,88	4,26
39 -> 40	3,33	6,56	79 -> 80	4,18	6,22

Tabela 0.2 – Amplitudes térmicas dos ciclos 81 a 160.

Ciclos	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)	Ciclos	Sensor A (°C)	Sensor B (°C)
80 -> 81	2,73	5,36	120 -> 121	1,16	2,77
81 -> 82	3,51	5,51	121 -> 122	3,90	5,99
82 -> 83	3,63	5,23	122 -> 123	1,78	4,62
83 -> 84	2,54	4,32	123 -> 124	1,64	3,86
84 -> 85	2,67	4,01	124 -> 125	3,13	6,20
85 -> 86	2,17	3,79	125 -> 126	3,38	8,00
86 -> 87	3,39	5,04	126 -> 127	1,88	6,13
87 -> 88	3,18	5,51	127 -> 128	3,41	5,58
88 -> 89	3,72	6,94	128 -> 129	3,31	7,36
89 -> 90	2,51	6,92	129 -> 130	3,67	7,94
90 -> 91	3,45	7,38	130 -> 131	2,12	5,66
91 -> 92	4,02	6,43	131 -> 132	3,96	6,37
92 -> 93	3,72	6,64	132 -> 133	4,21	7,21
93 -> 94	4,16	7,85	133 -> 134	3,24	7,80
94 -> 95	2,93	6,34	134 -> 135	3,10	8,07
95 -> 96	3,69	6,64	135 -> 136	2,85	7,06
96 -> 97	1,98	4,53	136 -> 137	2,95	5,95
97 -> 98	2,44	1,98	137 -> 138	3,83	7,91
98 -> 99	6,41	7,28	138 -> 139	3,89	8,44
99 -> 100	2,24	4,81	139 -> 140	4,09	8,95
100 -> 101	3,39	5,14	140 -> 141	4,19	9,10
101 -> 102	3,20	4,79	141 -> 142	3,74	8,92
102 -> 103	3,06	3,78	142 -> 143	3,11	8,68
103 -> 104	6,02	8,26	143 -> 144	4,02	8,58
104 -> 105	0,43	1,29	144 -> 145	3,34	7,82
105 -> 106	4,22	3,88	145 -> 146	4,41	6,67
106 -> 107	3,73	4,16	146 -> 147	3,55	5,80
107 -> 108	2,86	3,10	147 -> 148	4,58	5,93
108 -> 109	4,52	5,25	148 -> 149	4,44	7,31
109 -> 110	2,55	2,95	149 -> 150	3,13	5,15
110 -> 111	5,83	6,65	150 -> 151	3,92	5,87
111 -> 112	3,41	4,21	151 -> 152	4,51	7,68
112 -> 113	4,87	4,95	152 -> 153	3,42	6,92
113 -> 114	6,00	8,58	153 -> 154	2,27	4,73
114 -> 115	3,29	6,93	154 -> 155	3,91	3,53
115 -> 116	1,29	5,64	155 -> 156	3,69	4,94
116 -> 117	3,25	6,81	156 -> 157	3,94	5,82
117 -> 118	0,79	4,33	157 -> 158	3,06	5,59
118 -> 119	1,96	4,48	158 -> 159	0,42	1,38
119 -> 120	2,85	5,14	159 -> 160	3,47	3,32

Anexo C: Diferença entre as amplitudes térmicas entre os sensores A e B

Tabela 0.1 – Amplitudes térmicas entre os sensores A e B.

Ciclos	(°C)	Ciclos	(°C)	Ciclos	(°C)	Ciclos	(°C)
		40 -> 41	3,50	80 -> 81	2,63	120 -> 121	1,61
1 -> 2	-0,33	41 -> 42	1,88	81 -> 82	2,00	121 -> 122	2,09
2 -> 3	2,90	42 -> 43	2,02	82 -> 83	1,60	122 -> 123	2,84
3 -> 4	2,80	43 -> 44	2,95	83 -> 84	1,78	123 -> 124	2,22
4 -> 5	2,30	44 -> 45	2,79	84 -> 85	1,34	124 -> 125	3,07
5 -> 6	2,42	45 -> 46	3,06	85 -> 86	1,62	125 -> 126	4,62
6 -> 7	1,80	46 -> 47	3,35	86 -> 87	1,65	126 -> 127	4,25
7 -> 8	2,95	47 -> 48	1,74	87 -> 88	2,33	127 -> 128	2,17
8 -> 9	2,21	48 -> 49	1,95	88 -> 89	3,22	128 -> 129	4,05
9 -> 10	4,22	49 -> 50	2,81	89 -> 90	4,41	129 -> 130	4,27
10 -> 11	1,90	50 -> 51	2,55	90 -> 91	3,93	130 -> 131	3,54
11 -> 12	0,78	51 -> 52	2,01	91 -> 92	2,41	131 -> 132	2,41
12 -> 13	3,05	52 -> 53	2,78	92 -> 93	2,92	132 -> 133	3,00
13 -> 14	3,36	53 -> 54	2,62	93 -> 94	3,69	133 -> 134	4,56
14 -> 15	1,97	54 -> 55	2,28	94 -> 95	3,41	134 -> 135	4,97
15 -> 16	1,23	55 -> 56	0,98	95 -> 96	2,95	135 -> 136	4,21
16 -> 17	0,97	56 -> 57	1,38	96 -> 97	2,55	136 -> 137	3,00
17 -> 18	1,81	57 -> 58	0,88	97 -> 98	-0,46	137 -> 138	4,08
18 -> 19	1,93	58 -> 59	1,63	98 -> 99	0,87	138 -> 139	4,55
19 -> 20	2,80	59 -> 60	2,71	99 -> 100	2,57	139 -> 140	4,86
20 -> 21	3,00	60 -> 61	2,59	100 -> 101	1,75	140 -> 141	4,91
21 -> 22	2,83	61 -> 62	0,11	101 -> 102	1,59	141 -> 142	5,18
22 -> 23	3,37	62 -> 63	-0,77	102 -> 103	0,72	142 -> 143	5,57
23 -> 24	2,70	63 -> 64	1,31	103 -> 104	2,24	143 -> 144	4,56
24 -> 25	2,53	64 -> 65	-0,20	104 -> 105	0,86	144 -> 145	4,48
25 -> 26	3,42	65 -> 66	2,54	105 -> 106	-0,34	145 -> 146	2,26
26 -> 27	2,43	66 -> 67	3,52	106 -> 107	0,43	146 -> 147	2,25
27 -> 28	2,20	67 -> 68	3,81	107 -> 108	0,24	147 -> 148	1,35
28 -> 29	4,02	68 -> 69	3,93	108 -> 109	0,73	148 -> 149	2,87
29 -> 30	5,38	69 -> 70	3,76	109 -> 110	0,40	149 -> 150	2,02
30 -> 31	2,63	70 -> 71	2,84	110 -> 111	0,82	150 -> 151	1,95
31 -> 32	0,85	71 -> 72	1,72	111 -> 112	0,80	151 -> 152	3,17
32 -> 33	2,03	72 -> 73	2,36	112 -> 113	0,08	152 -> 153	3,50
33 -> 34	0,21	73 -> 74	2,49	113 -> 114	2,58	153 -> 154	2,46
34 -> 35	0,36	74 -> 75	3,51	114 -> 115	3,64	154 -> 155	-0,38
35 -> 36	1,11	75 -> 76	3,28	115 -> 116	4,35	155 -> 156	1,25
36 -> 37	1,89	76 -> 77	3,51	116 -> 117	3,56	156 -> 157	1,88
37 -> 38	3,74	77 -> 78	1,84	117 -> 118	3,54	157 -> 158	2,53
38 -> 39	2,72	78 -> 79	1,38	118 -> 119	2,52	158 -> 159	0,96
39 -> 40	3,23	79 -> 80	2,04	119 -> 120	2,29	159 -> 160	-0,15