

Edifício da Central Tejo em Lisboa – Caraterização dos materiais e suas anomalias

André Almeida Santos

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente:	Prof. Doutor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa
Orientadora:	Prof. ^a Doutora Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto França de Santana
Coorientador:	Eng.º Bernardo Fino Matos Martins
Vogal:	Prof. Doutor Augusto Martins Gomes
	Eng.º João Manuel Bessa Pinto

Novembro de 2013

Resumo

A Central Tejo foi a primeira central termoelétrica a funcionar em Portugal e teve um período de atividade compreendido entre 1909 e 1972. Ao longo do seu período de funcionamento foi alvo de várias ampliações e modificações, de modo a satisfazer os elevados níveis de consumo elétrico a que teve que dar resposta.

O interesse em conhecer as diversas etapas de construção, o escasso conhecimento relativo às principais soluções e materiais utilizados na construção dos edifícios desta central e nas intervenções a que têm sido submetidos, motivaram o desenvolvimento da presente dissertação.

O estudo desenvolvido incidiu sobre os dois edifícios principais do atual Museu da Eletricidade, os edifícios de Baixa Pressão e de Alta Pressão, e teve o apoio da Fundação EDP/Museu da Eletricidade.

A dissertação teve como principais objetivos, reunir e analisar a informação existente relativa: à construção e ampliação dos edifícios, às principais anomalias que justificaram as intervenções mais recentemente realizadas e às soluções e materiais utilizados nas referidas intervenções.

A análise das intervenções e dos materiais nelas utilizados foi complementada com a caracterização experimental de um conjunto de amostras de materiais das fachadas e de tijolos utilizados em substituições efetuadas durante as intervenções.

A caracterização dos materiais contribuiu para o conhecimento dos materiais constituintes das fachadas, bem como dos utilizados no âmbito das intervenções. Os tijolos existentes nas fachadas revelam-se mais porosos, com maior capacidade de absorção e de secagem mais rápida do que qualquer um dos tijolos utilizados em substituição dos pré-existentes.

Palavras – Chave:

Central Tejo – Museu da Eletricidade – Edifício de Baixa Pressão – Edifício de Alta Pressão – Tijolos pré-existentes – Tijolos de substituição

Abstract

The Central Tejo was the first thermoelectric plant operating in Portugal with a period of activity between 1909 and 1972. In order to meet high levels of power demand throughout its period of operation several extensions and modifications occurred.

The interest of knowing the various stages of construction, the lack of knowledge concerning the principal solutions and materials used in the construction of the Central buildings and the interventions that they have been submitted to, motivated the development of this thesis.

The study developed focused on the two of the main buildings of the current Museum of electricity complex, the Low Pressure and High Pressure Buildings, and had the support of the “Fundação EDP” /Museum of electricity.

The thesis’ main objectives were to collect and analyze existing information concerning: the construction and expansion of buildings, main anomalies warranting the action most recently performed and solutions and materials used during interventions.

The analysis of interventions and materials used was complemented with the experimental characterization of a set of either material samples that had been previously collected from the site and bricks used in to replaced existing ones.

Such characterization campaign contributed to enhance the knowledge about the constituting wall as well as of the materials used during the most recent interventions. The bricks of the walls proved to be more porous with higher absorption capacity and faster drying capacity than any of the bricks used to replace the pre-existing.

Keywords:

Central Tejo – Museum of electricity – Low Pressure Building – High Pressure Building – Old bricks – Replacement bricks

Agradecimentos

À Prof.^a Doutora Ana Paula Ferreira Pinto, minha orientadora, pelo incentivo, orientação, conhecimentos transmitidos e por toda a paciência demonstrada ao longo desta dissertação;

Ao Engenheiro Bernardo Martins meu co-orientador pela sua orientação e disponibilidade para apoiar este trabalho;

Ao Dr. Eduardo Moura e à Dr.^a Rosa Goy pela sua inteira disponibilidade em apoiar este projeto;

Ao Dr. Luís Cruz e ao Sr. Pires Barbosa pelos conhecimentos que me transmitiram, bem como pelo material cedido;

À Dr.^a Fátima Mendes, ao Alexon Santos, aos guias e restantes membros pertencentes à Fundação EDP e ao Museu da Eletricidade um agradecimento por todo o apoio prestado;

Ao Prof. Doutor António Gago, ao António e ao Marco que também participaram em projetos paralelos a este;

Ao senhor Leonel e ao João, técnicos do Laboratório de Construção, pelo auxílio, paciência e dedicação na realização do trabalho experimental;

Às Engenheiras Rita Nogueira e Bruna Silva pela ajuda prestada na realização de alguns ensaios, assim como pela ajuda na obtenção de alguns materiais;

Ao Tiago e aos meus restantes colegas de laboratório;

À Marina um agradecimento especial pela revisão do *Abstract*;

Aos meus pais, Francisco e Maria, que sempre me apoiaram de todas as formas possíveis;

Às minhas irmãs, Marlene e Serenela, que sempre me encorajaram;

À Ana Rita minha fiel companheira, pelo incentivo, atenção e generosidade prestada ao longo destes anos. Um muito obrigado também pela revisão do texto;

A toda a minha restante família e amigos.

Índice geral

Resumo.....	i
Abstract	iii
Agradecimentos.....	v
Índice geral.....	vii
Índice de figuras.....	ix
Índice de tabelas.....	xv
Abreviaturas	xvii
1 – Introdução.....	1
1.1 – Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2 – Objetivos	2
1.3 – Organização do texto.....	2
2 – Enquadramento histórico da Central Tejo.....	5
2.1 – Considerações gerais	5
2.2 – Breve resenha histórica da Central Tejo.....	5
2.3 – Considerações finais.....	12
3 – Descrição Estrutural e Construtiva dos edifícios de Baixa e de Alta Pressão da Central Tejo	15
3.1 – Considerações gerais	15
3.2 – Descrição genérica dos edifícios e suas fases de construção.....	15
3.2.1 – Edifício de Baixa Pressão.....	16
3.2.2 – Edifício de Alta Pressão	18
3.3 – Caracterização da solução estrutural e construtiva.....	19
3.3.1 – Edifício de Baixa Pressão.....	19
3.3.2 – Edifício de Alta Pressão	25
3.4 – Inventariação e análise dos materiais	27
3.4.1 – Considerações gerais	27
3.4.2 - Edifício de Baixa Pressão	28
3.4.3 - Edifício de Alta Pressão.....	32
4 – Intervenções e seus principais intervenientes.....	35
4.1 – Considerações gerais	35
4.2 – Descrição das intervenções	36
4.2.1 – Intervenção de 2001	36
4.2.2 – Intervenção de 2011	39
5 – Análise da intervenção de 2011.....	41
5.1 – Considerações iniciais	41
5.2 – Anomalias presentes nas fachadas antes da intervenção	42
5.2.1 – Considerações gerais	42
5.2.1 – Anomalias em paredes de alvenaria de tijolo	42

5.2.2 – Anomalias em rebocos	43
5.2.3 – Anomalias em elementos de betão armado	44
5.3 – Principais trabalhos realizados	53
5.3.1 – Considerações gerais	53
5.3.2 – Consolidação de panos de alvenaria de tijolo.....	53
5.3.3 – Grampeamento de fissuras	56
5.3.4 – Selagem de fissuras	58
5.3.5 – Substituição integral de panos de alvenaria.....	59
6 – Análise e caraterização de materiais das fachadas dos edifícios de Baixa e Alta Pressão	61
6.1 – Introdução.....	61
6.2 – Análise da variabilidade dos tijolos constituintes da fachada Poente do edifício de Baixa Pressão.....	61
6.3 – Métodos de Ensaio	65
6.3.1 – Considerações gerais	65
6.3.2 – Caraterização física	65
6.3.3 – Caraterização colorimétrica.....	73
6.3.4 – Velocidade de propagação de ultra-sons	74
6.4 – Caraterização de amostras das fachadas.....	75
6.4.1 – Enquadramento.....	75
6.4.3 – Argamassas.....	80
6.4.4 – Tijolos.....	81
6.5 – Caraterização dos Tijolos utilizados em substituições	89
6.5.1 – Enquadramento.....	89
6.5.3 – Caraterização dos Tijolos	91
6.6 – Análise comparativa das caraterísticas dos materiais pré-existentes e de substituição	106
6.6.1 – Considerações gerais	106
6.6.2 – Edifício de Baixa Pressão – Fachada Poente.....	106
6.6.3 – Edifício de Baixa Pressão – Fachada Sul	110
6.6.4 – Edifício de Alta Pressão	112
7 – Conclusões e proposta para desenvolvimentos futuros	117
7.1 – Conclusões gerais.....	117
7.2 – Proposta para desenvolvimentos futuros.....	121
Referências bibliográficas	123
Anexos.....	127

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 – Localização da Central Tejo.	1
--	---

Capítulo 2

Figura 2.1 – Planta geral de localização dos edifícios e espaços que garantiam o funcionamento da Central Tejo.	5
Figura 2.2 – Praça do carvão	6
Figura 2.3 – Central da Junqueira ou CT-I (Fachada Norte).	6
Figura 2.4 – Projeto de execução da Central Tejo II.	7
Figura 2.5 – Fachada Norte da CT-II.....	7
Figura 2.6 – Comboio elétrico na estação de Belém. Foto da época.	8
Figura 2.7 – Construção da última nave do edifício das caldeiras de Baixa Pressão (vista SE).....	8
Figura 2.8 – Ampliação da Sala das Máquinas (vista SW).....	9
Figura 2.9 – Ampliação da Subestação Elevadora de Tensão (vista SE).	9
Figura 2.10 – Construção do posto de transformação (vista SE).....	9
Figura 2.11 – Construção da sala de tratamento de águas.	10
Figura 2.12 – Construção da Central Tejo III (vista N).	10
Figura 2.13 – Construção da torre dos Silos misturadores.	10
Figura 2.14 – Construção do Reservatório de depósito de nafta.	11
Figura 2.15 – Esquema de funcionamento das caldeiras.	11
Figura 2.16 – Ampliação do edifício da AP (Vista SW).	11
Figura 2.17 – Museu da eletricidade. Vista Sul (esquerda); vista SW (direita).....	12
Figura 2.18 – Representação do interior e exterior dos edifícios de BP e AP.....	13

Capítulo 3

Figura 3.1 – Edifícios da BP e AP – principais fases construtivas.	15
Figura 3.2 – Alçado Sul da maquete da CT. Edifício da AP (esquerda); Edifício da BP (direita).	16
Figura 3.3 – Fachada Poente do edifício da Baixa Pressão.	17
Figura 3.4 – Planta de disposição das caldeiras de BP.....	17
Figura 3.5 – Edifício da Alta Pressão (vista SW).....	18
Figura 3.6 – Proposta de ampliação do Edifício da AP. Alçados Poente e Sul.	19
Figura 3.7 – Processo de execução da estaca Franki.	20
Figura 3.8 – Exemplo de poços/pegões.....	20
Figura 3.9 – Execução do ensoleiramento geral. Edifício da BP.	21
Figura 3.10 – Fachada Sul da BP.	21
Figura 3.11 – Fachada Norte da BP.....	21

Figura 3.12 – Montagem da estrutura metálica aquando da última ampliação da BP. Vista SE (esquerda) e vista SW (direita).	22
Figura 3.13 – Alvenaria de tijolo maciço. Padrões de arranjo dos tijolos.	22
Figura 3.14 – Padrão predominante de arranjo dos tijolos nas fachadas. Alçado (esquerda) e planta (direita).	23
Figura 3.15 – Execução da alvenaria ordinária de pedra. Construção da última nave de BP.....	23
Figura 3.16 – Laje do edifício de Baixa Pressão. Solução original da laje de pavimento (esquerda) e solução adotada no fecho das aberturas da laje (direita).	24
Figura 3.17 – Janelão com caixilharia metálica (visto do interior).....	24
Figura 3.18 – Maquete da estrutura metálica do Edifício de Alta Pressão.	25
Figura 3.19 – Montagem da estrutura e caldeiras do Edifício de AP.	25
Figura 3.20 – Assentamento da alvenaria no Piso 0 do edifício de AP.	26
Figura 3.21 – Representação de vários elementos da fachada. Fachada Poente do edifício de BP.	26
Figura 3.22 – Janelões em betão armado. Fachada Sul de AP.	27
Figura 3.23 – Tipos de tijolo: maciço (esquerda) e perfurado (direita).	28
Figura 3.24 – Pormenor tipo da laje da BP.....	28
Figura 3.25 – Exemplo de abobadilha cerâmica.	29
Figura 3.26 – Alvenaria de tijolo na BP. Fachadas Norte (esquerda) e Sul (direita).	30
Figura 3.27 – Diversidade de argamassas presentes na fachada Norte do edifício de BP.	30
Figura 3.28 – Estrutura metálica da BP.	31
Figura 3.29 – Estrutura da cobertura do edifício de BP.	31
Figura 3.30 – Alvenaria de tijolo na fachada Sul da AP.	32
Figura 3.31 – Perfis metálicos com secção em "I" na laje de piso do edifício de AP.	33
Figura 3.32 – Montantes verticais. No interior do edifício (esquerda) e na fachada visto do interior do edifício (direita).	33

Capítulo 4

Figura 4.1 – Edifícios abrangidos pela intervenção, em 2001 (azul) e 2003 (vermelho).	36
Figura 4.2 – Elementos metálicos corroídos.....	38
Figura 4.3 – Agravamento da abertura de fendas na zona de anterior injeção de calda.	38
Figura 4.4 – Degradação dos tijolos.	39
Figura 4.5 – Elementos de alvenaria fraturados.	39
Figura 4.6 – Reconstrução da laje em betão armado no edifício da Baixa Pressão.	39

Capítulo 5

Figura 5.1 – Fissuração e fendilhação de panos de alvenaria.	42
Figura 5.2 – Anomalias em alvenaria de tijolo. i) Delaminação de tijolos e falta de coesão das juntas; ii) degradação de tijolos e iii) falta de materiais nas juntas.....	43

Figura 5.3 – Fendilhação (esquerda) e fissuração (direita) em argamassas de reboco.	44
Figura 5.4 – Descasque de recobrimento em elementos de betão armado.	44
Figura 5.5 – Mapeamento de patologias na fachada Nascente do edifício de BP.	46
Figura 5.6 – Mapeamento de patologias na fachada Poente do edifício de BP.	47
Figura 5.7 – Mapeamento de patologias na fachada Norte do edifício de BP.	48
Figura 5.8 – Mapeamento de patologias na fachada Sul do edifício de BP.	49
Figura 5.9 – Mapeamento de patologias nas fachadas Nascente (esquerda) e Poente (direita) do edifício de AP.	50
Figura 5.10 – Mapeamento de patologias na fachada Norte do edifício de AP.	51
Figura 5.11 – Mapeamento de patologias na fachada Norte do edifício de BP.	52
Figura 5.12 – Zona de consolidação dos panos de alvenaria. Fachada Sul da BP.	53
Figura 5.13 – Esquema de aplicação de DryFix e Crack Stitching.	54
Figura 5.14 – Zona de consolidação dos panos de alvenaria. Fachada Nascente da BP.	54
Figura 5.15 – Procedimento na aplicação de DryFix.	55
Figura 5.16 – Pormenor da aplicação de DryFix.	55
Figura 5.17 – Procedimento na aplicação de Crack Stitching.	56
Figura 5.18 – Principais materiais aplicados.	56
Figura 5.19 – Zona de grampeamento de fissuras. Fachada Nascente da BP.	57
Figura 5.20 – Aplicação da técnica de Crack Stitching. Varão dobrado na extremidade (esquerda) e varão normal (direita).	57
Figura 5.21 – Selagem de fissuras com resina epóxi.	58
Figura 5.22 – Localização dos panos de alvenaria reconstruídos na fachada Poente da BP.	59
Figura 5.23 – Sistema de travamento entre os dois panos de alvenaria.	60
Figura 5.24 – Reconstrução do pano de alvenaria.	60

Capítulo 6

Figura 6.1 – Localização dos diferentes tipos de tijolos presentes na fachada Poente da BP.	62
Figura 6.2 – Combinação de diferentes tipos de tijolo.	63
Figura 6.3 – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão.	66
Figura 6.4 – Fases da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade.	67
Figura 6.5 – Fases de realização do ensaio de porosidade acessível à água.	68
Figura 6.6 – Etapas de realização do ensaio de determinação do teor em água após imersão durante 48 horas.	69
Figura 6.7 – Diversas etapas de realização do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.	71
Figura 6.8 – Diversas etapas de realização do ensaio de secagem.	72
Figura 6.9 – Impermeabilização das faces laterais dos tijolos inteiros.	73
Figura 6.10 – Representação das coordenadas do sistema CIELAB.	74
Figura 6.11 – Ensaio de determinação de ultra-sons. Calibração (esquerda) e realização do ensaio (direita).	74
Figura 6.12 – Presença de ferrugem na amostra de argamassa proveniente da corrosão dos perfis metálicos.	78

Figura 6.13 – Amostras selecionadas para corte.	79
Figura 6.14 – Plano de ensaios a realizar nas amostras pré-existentes.....	80
Figura 6.15 – Provetes prismáticos dos diferentes tipos de tijolo pré-existentes ensaiados.....	82
Figura 6.16 – Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz do tempo.....	83
Figura 6.17 – Curvas de secagem.....	84
Figura 6.18 – Variação de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	86
Figura 6.19 – Esquema representativo da localização dos provetes ensaiados.	86
Figura 6.20 – Cor dos tijolos. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).	88
Figura 6.21 – Cor dos tijolos. Coordenadas a^* vs b^*	88
Figura 6.22 – Diferentes tipos de tijolo de substituição.	90
Figura 6.23 – Provetes prismáticos dos diferentes tipos de tijolo de substituição ensaiados.	90
Figura 6.24 – Plano de ensaios realizado nos três tipos tijolos de substituição.....	91
Figura 6.25 – Representação das duas direções do fluxo.	93
Figura 6.26 – Curvas de absorção de água por capilaridade em tijolos, segundo as direções Z e Y.....	93
Figura 6.27 – Curva de absorção de água por capilaridade e altura da franja líquida em função da raiz do tempo. Tijolo Espanhol direção Y.....	95
Figura 6.28 – Presença de sais à superfície do tijolo Inglês. Ensaio de absorção de água por capilaridade (direção Z).....	95
Figura 6.29 – Curvas de absorção de água por capilaridade obtidas em provetes de dimensão 1,5x1,5x6,5 [cm].	96
Figura 6.30 – Curvas de absorção de água por capilaridade obtidas em provetes de dimensão 3x3x6,5 [cm].	96
Figura 6.31 – Observação da presença de porosidade fechada.	98
Figura 6.32 – Curvas de absorção de água sob baixa pressão.....	99
Figura 6.33 – Curvas de secagem dos provetes.....	100
Figura 6.34 – Curvas de secagem dos tijolos.....	101
Figura 6.35 – Curvas de secagem dos provetes e tijolo. Português (esquerda) e Inglês (direita).	101
Figura 6.36 – Variação de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	102
Figura 6.37 – Cor dos tijolos. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).	103
Figura 6.38 – Cor dos tijolos. Coordenadas a^* vs b^*	103
Figura 6.39 – Representação da distância percorrida vs tempo. Determinação da velocidade de ultra-sons.	104
Figura 6.40 – Velocidade de propagação de ultra-sons vs porosidade.....	105
Figura 6.41 – Valores médios de MVR (esquerda) e porosidade (direita) de tijolos da fachada Poente da BP. .	106
Figura 6.42 – Curvas médias de absorção capilar. Fachada Poente da BP.	107
Figura 6.43 – Coeficientes de capilaridade da fachada Poente da BP.....	107
Figura 6.44 – Curvas médias de secagem. Fachada Poente da BP.	108
Figura 6.45 – Índices de secagem da fachada Poente da BP.	108
Figura 6.46 – Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água. Fachada Poente da BP.	109
Figura 6.47 – Cor dos tijolos da fachada Poente da BP. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).	109

Figura 6.48 – Cor dos tijolos da fachada Poente da BP. Coordenadas a^* vs b^*	109
Figura 6.49 – Valores médios de MVR (à esquerda) e porosidade (à direita) nos tijolos da fachada Sul da BP.	110
Figura 6.50 – Curvas médias de absorção capilar. Fachada Sul da BP.	111
Figura 6.51 – Coeficientes de capilaridade da fachada Sul da BP.	111
Figura 6.52 – Curvas médias de secagem. Fachada Sul da BP.	111
Figura 6.53 – Índices de secagem da fachada Sul da BP.	111
Figura 6.54 – Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água. Fachada Sul da BP.	112
Figura 6.55 – Cor dos tijolos da fachada Sul da BP. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).	112
Figura 6.56 – Cor dos tijolos da fachada Sul da BP. Coordenadas a^* vs b^*	112
Figura 6.57 – Valores médios de porosidade em tijolos da AP.	113
Figura 6.58 – Valores médios de MVR de tijolos da AP.	113
Figura 6.59 – Curvas médias de absorção capilar. Fachada Poente da AP.	114
Figura 6.60 – Coeficientes de capilaridade da fachada Poente da AP.	114
Figura 6.61 – Curvas médias de secagem. Fachada Poente da AP.	114
Figura 6.62 – Índices de secagem da fachada Poente da AP.	114
Figura 6.63 – Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água. Fachada Poente da AP.	115
Figura 6.64 – Cor dos tijolos da fachada Poente da AP. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).	115
Figura 6.65 – Cor dos tijolos da fachada Poente da AP. Coordenadas a^* vs b^*	115

Índice de tabelas

Capítulo 5

Tabela 5.1 – Quadro resumo das diversas anomalias presentes nas fachadas dos edifícios da BP e AP	45
---	----

Capítulo 6

Tabela 6.1 – Descrição dos tijolos da fachada Poente da BP.....	63
Tabela 6.2 – Pressão de saturação em função da temperatura.	72
Tabela 6.3 – Identificação e descrição das amostras de argamassa das fachadas dos edifícios da Central Tejo. ..	75
Tabela 6.4 – Identificação e descrição das amostras de tijolos das fachadas dos edifícios da Central Tejo.	76
Tabela 6.5 – Amostras de argamassa - Porosidade, massa volúmica, teor em água e coeficiente de saturação.	80
Tabela 6.6 – Amostras de tijolo - Massa volúmica, porosidade, teor em água e coeficiente de saturação	82
Tabela 6.7 – Coeficientes de capilaridade nas amostras pré-existentes.	83
Tabela 6.8 – Caraterização da secagem.	85
Tabela 6.9 – Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água.	86
Tabela 6.10 – Coordenadas colorimétricas e correspondentes valores de croma.	87
Tabela 6.11 – Dimensões dos diferentes tipos de tijolo.	90
Tabela 6.12 – Massa volúmica, porosidade, teor em água e coeficiente de saturação nos tijolos de substituição.	92
Tabela 6.13 – Coeficientes de capilaridade em tijolos. Direções Z e Y.	93
Tabela 6.14 – Coeficientes de capilaridade do tijolo Espanhol. Direção Y.	94
Tabela 6.15 – Coeficientes de capilaridade nos provetes de tijolos de substituição.	97
Tabela 6.16 – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão.	98
Tabela 6.17 – Caraterização da secagem nos provetes.	100
Tabela 6.18 – Caraterização da secagem nos tijolos.	101
Tabela 6.19 – Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água.	102
Tabela 6.20 – Coordenadas colorimétricas e correspondentes valores de croma.	103
Tabela 6.21 – Velocidade de propagação de ultra-sons.	105
Tabela 6.22 – Amostras de tijolos pré-existentes e tijolos de substituição que serão objeto de comparação.	106
Tabela 6.23 – Teores em água e correspondente coeficiente de saturação.	107
Tabela 6.24 – Teores em água e correspondente coeficiente de saturação.	110
Tabela 6.25 – Teores em água e correspondentes coeficientes de saturação.	113

Abreviaturas

AP – Alta Pressão;

BP – Baixa Pressão;

CC – Coeficiente de absorção de água por capilaridade, expresso em $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})]$;

CP – Coeficiente de permeabilidade ao vapor, expresso em $[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})]$;

CS – Coeficiente de Saturação, expresso em [%];

CRGE – Companhias Reunidas de Gás e Eletricidade;

CT – Central Tejo;

CT-I – Central Tejo I;

CT-II – Central Tejo II;

CT-III – Central Tejo III;

E – Tijolo Espanhol;

I – Tijolo Inglês;

IS – Índice de secagem;

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade;

MQT – Mapa de Quantidades de Trabalho;

MVA – Massa Volúmica Aparente, expresso em $[\text{kg}/\text{m}^3]$;

MVR – Massa Volúmica Real, expresso em $[\text{kg}/\text{m}^3]$;

P – Tijolo Português;

VA – Valor assintótico da quantidade de água absorvida, por unidade de superfície, no ensaio de absorção de água por capilaridade, expresso em $[\text{kg}/\text{m}^2]$.

A informação relativa quer aos processos construtivos e materiais usados na construção dos edifícios, quer às intervenções de reabilitação e os principais intervenientes é diminuta.

Na última década efetuaram-se duas grandes campanhas de intervenção com vista à resolução de anomalias das fachadas dos edifícios, cujas causas importa caraterizar e analisar.

1.2 – Objetivos

O presente trabalho pretende analisar a informação existente relativa à construção do imóvel, às suas alterações sofridas ao longo do tempo e às suas anomalias. Além disso, pretende também complementar a informação existente relativa às caraterísticas dos principais materiais constituintes das alvenarias e dos que têm sido utilizados em intervenções recentes.

Para o efeito, e após realizar uma análise sintetizada relativamente à construção do imóvel e das alterações ocorridas ao longo dos anos, cujos principais materiais aplicados foram também identificados, procedeu-se a uma análise das duas últimas intervenções realizadas, incidindo principalmente sobre a última grande intervenção (início em 2011 e termo em 2012) cujo principal propósito foi a eliminação das infiltrações no museu. Nesse mesmo ponto realizou-se um mapeamento das patologias existentes até à data desta última intervenção e à descrição das principais técnicas e materiais utilizados.

Ainda no âmbito deste trabalho foi realizada uma análise detalhada *in situ*, a olho nu, a uma das fachadas de um dos edifícios, com vista a verificação da aleatoriedade dos diferentes tipos de materiais empregues, bem como mapear as suas patologias.

Para finalizar foi também um objetivo deste trabalho proceder à realização de uma campanha experimental sobre os tijolos empregues na substituição (intervenção de 2011) e das amostras de tijolo e argamassa pré-existent nas fachadas, de modo a compreender melhor as suas caraterísticas, relacioná-los entre si e ainda obter algum grau de correlação com as causas das anomalias evidenciadas.

1.3 – Organização do texto

Este trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos principais tratando-se o primeiro de um capítulo introdutório. Neste foi efetuado um breve enquadramento e justificação do tema sendo também mencionados os principais objetivos desta dissertação.

No segundo capítulo foi realizado um enquadramento histórico da Central Tejo e do conjunto de edifícios que a constituem.

O terceiro capítulo incide sobre a descrição estrutural e construtiva dos edifícios da Baixa e da Alta Pressão da Central Tejo. Neste mesmo capítulo, procede-se à descrição genérica destes edifícios e das suas fases de construção, à caracterização estrutural e construtiva dos mesmos e ainda é efetuada uma inventariação e análise dos materiais presentes nestes edifícios.

A descrição das intervenções realizadas nestes edifícios e seus principais intervenientes são apresentados no quarto capítulo deste trabalho.

O capítulo cinco aborda, de uma forma geral, a última grande intervenção realizada na Central Tejo em 2011. Neste capítulo são referidas as principais anomalias que originaram esta grande intervenção, são identificados os principais trabalhos realizados no seu âmbito e inventariadas as técnicas e materiais aplicados durante a intervenção.

O capítulo seis apresenta a campanha experimental realizada com o objetivo de caracterizar os materiais das fachadas dos edifícios da Baixa e da Alta Pressão da Central Tejo. Este capítulo procede à análise da variabilidade dos materiais presentes, à descrição do plano de ensaios e dos métodos utilizados na caracterização experimental de amostras provenientes das fachadas e dos tijolos de substituição aplicados no âmbito da última intervenção.

Por fim, o capítulo sete apresenta as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho, bem como de propostas para eventuais trabalhos futuros.

Este trabalho apresenta também uma secção de anexos, onde são apresentadas as fichas técnicas dos tijolos utilizados nas substituições realizadas no âmbito da intervenção de 2011, bem como alguns resultados dos ensaios de caracterização realizados no âmbito da campanha experimental.

2 – Enquadramento histórico da Central Tejo

2.1 – Considerações gerais

Neste capítulo será abordado, de forma genérica, a história da Central Tejo (CT), dando maior ênfase à construção dos edifícios que constituem hoje o espaço do Museu da Eletricidade, do que às instalações mecânicas de produção de energia.

Este capítulo foi elaborado com base em informação facultada pela Fundação EDP/Museu da eletricidade.

De modo a facilitar a compreensão da localização dos edifícios da CT, que seguidamente irão ser diversas vezes mencionados, é apresentada uma planta geral de localização destes edifícios e dos espaços que garantiam o seu funcionamento (**Figura 2.1**).

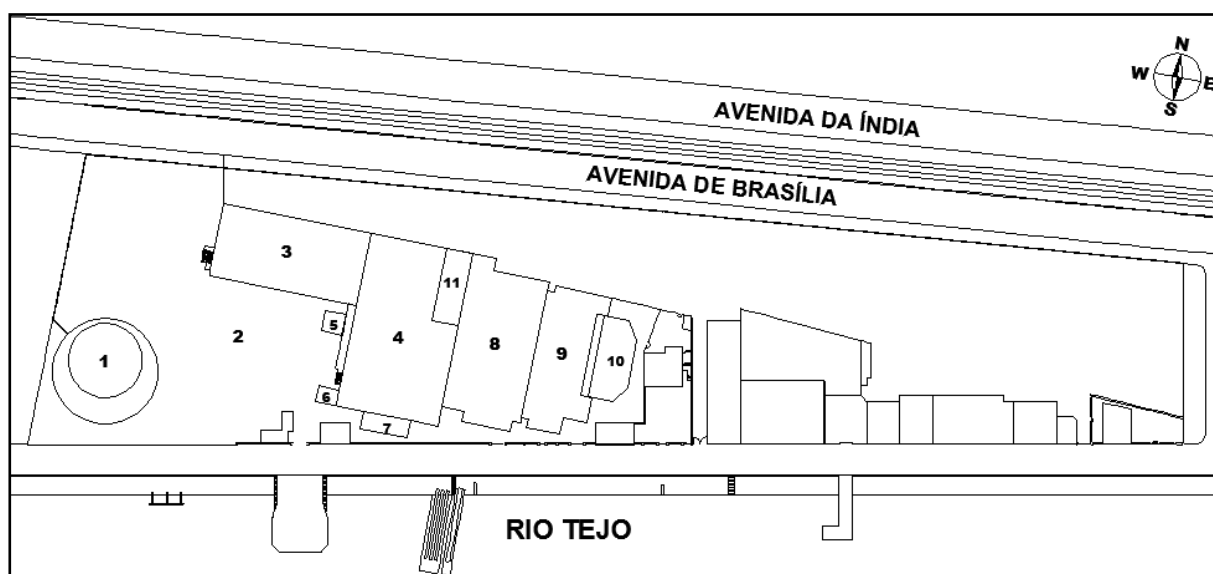


Figura 2.1 – Planta geral de localização dos edifícios e espaços que garantiam o funcionamento da Central Tejo.

(1-Reservatório de Nafta; 2-Praça do carvão; 3-Edifício da Alta Pressão (AP); 4-Edifício da Baixa Pressão (BP); 5-Silos misturadores de carvão; 6-Skip das cinzas; 7-Sala das bombas de água da BP; 8-Sala das máquinas; 9-Subestação elevadora de tensão; 10-Posto de transformação de tensão; 11-Sala das águas.)

2.2 – Breve resenha histórica da Central Tejo

A Central Tejo (CT) foi a primeira central termoelétrica a funcionar em Portugal com um período de atividade compreendido entre 1909 e 1972. A partir de 1951, a CT passou a ser utilizada como central de reserva, devido ao início de funcionamento da Central Hidroelétrica do Castelo de Bode.

O princípio de funcionamento da CT consistia na queima de carvão para produzir vapor de água, o que permitia fazer girar um gerador de produção de corrente elétrica. Na prática, este processo necessita de um conjunto complexo de máquinas, circuitos e logística.

Importa também referir que, o País não possuía energia primária de qualidade – o carvão – sendo este importado por via marítima e depositado na praça do carvão (**Figuras 2.1 e 2.2**), onde posteriormente passava por um conjunto de processos até se dar a sua entrada nas caldeiras de queima.

Esta central foi construída no mesmo terreno onde já se encontrava anteriormente uma central, a Central da Junqueira ou Central Tejo I (**Figura 2.3**), propriedade das antigas Companhias Reunidas de Gás e Eletricidade (CRGE), construída em 1908. Esta primitiva central foi desenhada e projetada pelo engenheiro Lucien Neu, sendo a sua construção da autoria da firma francesa, *Vieillard et Touzet*. Caracterizada pelo estilo arquitetónico e equipamentos técnicos típicos de pequenas centrais elétricas do fim do século XIX. Esta central manteve-se em funcionamento até 1921. A Central da Junqueira estava inicialmente programada para funcionar por um período de seis anos, período este que acabaria por se prolongar até 1921 devido à Iª Grande Guerra Mundial. A energia fornecida por esta central destinava-se, quase exclusivamente, à iluminação pública local e particular da cidade.



Figura 2.2 – Praça do carvão (fonte: L.Cruz).



Figura 2.3 – Central da Junqueira ou CT-I
(Fachada Norte) (fonte: L.Cruz).

A construção da nova Central Tejo, a Central Tejo II, **Figura 2.4**, iniciou-se em 1914, exatamente na altura em que na Europa deflagravam as hostilidades da Iª Grande Guerra Mundial, tendo a sua construção terminado em 1930. A construção desta nova central, composta por caldeiras de baixa pressão, foi realizada em três fases de grande importância.

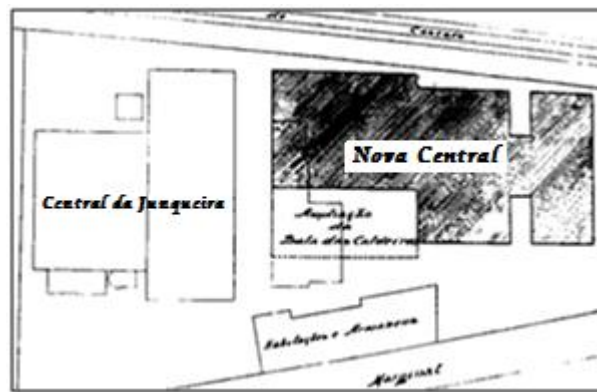


Figura 2.4 – Projeto de execução da Central Tejo II (fonte: cdme).

A primeira fase de construção da Central Tejo II (de 1914 a 1921) correspondeu à construção de duas naves industriais, destinadas à instalação das primeiras seis caldeiras de baixa pressão, e de dois edifícios adjacentes para Nascente, onde se instalaram a sala das máquinas para os alternadores e a subestação. A sala das máquinas só entrou em funcionamento em 1919, devido a dificuldades na importação dos geradores, na sequência dos problemas que a Europa vivia na época. Este atraso levou a que o funcionamento das seis caldeiras de baixa pressão tenha ocorrido apenas em 1921, altura em que a Iª Grande Guerra Mundial já tinha terminado. Em 1921, com a entrada em pleno funcionamento da Central Tejo II, o funcionamento da primitiva Central Tejo I foi cessado sendo desmantelado todo o seu equipamento.

A **Figura 2.5** apresenta uma foto do alçado Norte desta nova Central (CT-II), e permite observar os edifícios da Subestação, Sala das máquinas e o edifício das caldeiras de Baixa Pressão, respetivamente da esquerda para a direita.



Figura 2.5 – Fachada Norte da CT-II (fonte: cdme).

Em 1924, teve início a segunda fase de construção da CT-II (de 1924 a 1928), com o objetivo de proceder à primeira ampliação da sala das caldeiras de BP. Esta ampliação consistiu na construção de mais uma nave longitudinal, para instalar três caldeiras adicionais, e ainda na aquisição de um novo grupo gerador.

A título de curiosidade importa acrescentar que, em 1927, a máquina a vapor nos comboios da linha do Estoril foi substituída por motor elétrico alimentado pela energia produzida na Central Tejo (**Figura 2.6**).



Figura 2.6 – Comboio elétrico na estação de Belém. Foto da época (fonte: L.Cruz).

A terceira e última fase de construção da CT-II (de 1928 a 1930) correspondeu à conclusão do edifício da Baixa Pressão, com a construção da última nave. Esta última nave longitudinal destinava-se à instalação das duas últimas caldeiras de baixa pressão e apresenta dimensões diferentes das anteriormente construídas. A **Figura 2.7** apresenta o início desta mesma ampliação, sendo visível a montagem da estrutura metálica. Nesta mesma figura é possível também observar, em plano de fundo, a ainda existente Central da Junqueira (CT-I).



Figura 2.7 – Construção da última nave do edifício das caldeiras de Baixa Pressão (vista SE) (fonte: cdme).

Segundo Mário Kong (**Kong, 2000**), os três edifícios que constituem a CT-II (**Figuras 2.5**) apesar de apresentarem geometrias distintas, consoante o tipo de produção a que se destinavam, interligam-se entre si pela funcionalidade do interior.

Os edifícios da sala das máquinas e da subestação elevadora de tensão, adjacentes ao edifício das caldeiras, também foram alvo de diversas ampliações, no mesmo sentido (Sul), e com o mesmo propósito, o aumento de produção de energia elétrica (**Figuras 2.8 e 2.9**).



Figura 2.8 – Ampliação da Sala das Máquinas (vista SW) (fonte: cdme).



Figura 2.9 – Ampliação da Subestação Elevadora de Tensão (vista SE) (fonte: cdme).

O consumo elétrico, com o início da atividade da Central Tejo II, já atingia quase toda a cidade de Lisboa. Desta forma, e para cobrir todas as necessidades crescentes de energia elétrica da época, procedeu-se à substituição dos geradores por outros de maior potência. Paralelamente a este acontecimento, finalizou-se em 1935 a montagem de uma subestação elevadora. Esta, em conjunto com a construção de um posto de transformação de tensão (**Figura 2.10**), fez com que a Central Tejo passasse a satisfazer não só as necessidades da cidade de Lisboa, como também as necessidades energéticas num âmbito regional.



Figura 2.10 – Construção do posto de transformação (vista SE) (fonte: L.Cruz).

O aumento de potência e dos consumos da população levaram à necessidade de aquisição de três novas caldeiras, desta feita de alta pressão. Estas caldeiras possuíam enorme dimensão o que exigiu a construção de um novo edifício, o edifício das caldeiras de Alta Pressão – a Central Tejo III.

A construção deste novo grande edifício, o maior de todo o conjunto de edifícios da Central Tejo, levou à demolição, em 1938, do que restava da antiga Central Tejo I e, obrigou à deslocação das oficinas e armazéns que se encontravam neste mesmo local. Uma sala de tratamento de águas foi construída no interior do Edifício de Baixa Pressão, dismantelando, para esse fim, duas das primeiras caldeiras que aí existiam (**Figura 2.11**).



Figura 2.11 – Construção da sala de tratamento de águas (fonte: cdme).

O início da montagem destas três enormes caldeiras de alta pressão e posterior construção da Central Tejo III, edifício de Alta Pressão (**Figura 2.12**), ocorreu no ano de 1938, mas o funcionamento destas só teve início em 1941, com a também construção de uma torre adjacente a este mesmo edifício onde se localizavam os silos misturadores de carvão (**Figura 2.13**).



Figura 2.12 – Construção da Central Tejo III (vista N) (fonte: cdme).



Figura 2.13 – Construção da torre dos Silos misturadores (fonte: cdme).

O atraso no início de funcionamento desta central deveu-se às hostilidades da IIª Grande Guerra Mundial (de 1939 a 1945) que deflagrou na Europa, e dificultou, uma vez mais, a aquisição de carvão de boa qualidade necessário para operação destas caldeiras.

As dificuldades de abastecimento de carvão não cessaram com o fim da IIª Grande Guerra Mundial, facto que levou à montagem, em 1949, de um enorme reservatório de nafta (**Figura 2.14**). Este reservatório, com 8000 metros cúbicos de capacidade, servia para o depósito de nafta, que seria depois queimada nas caldeiras de alta pressão como forma alternativa de abastecimento das caldeiras.

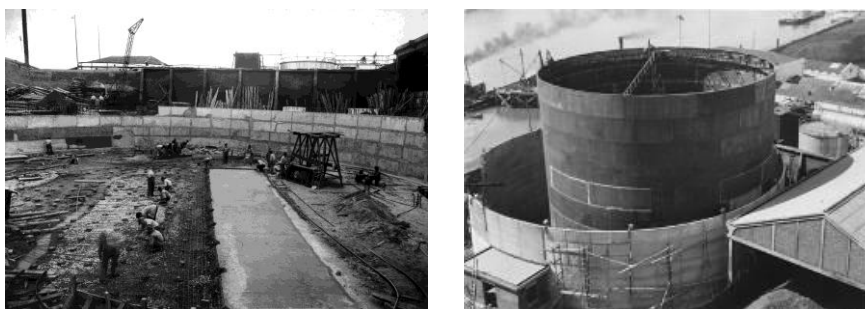


Figura 2.14 – Construção do Reservatório de depósito de nafta (fonte: cdme).

Em 1950, a Central Tejo foi submetida à sua última ampliação, com a instalação da última caldeira de alta pressão, a qual entrou em funcionamento um ano depois, ano em a que a energia elétrica de Lisboa passou a ser produzida pela central Hidroelétrica do Castelo de Bode. Na **Figura 2.15** é possível observar o esquema de funcionamento de uma destas grandes caldeiras. A **Figura 2.16** apresenta uma foto da época em que se deu a ampliação do edifício da AP.

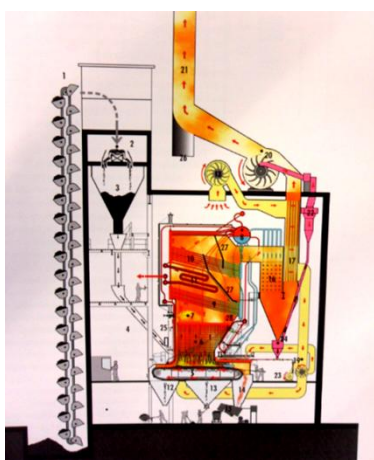


Figura 2.15 – Esquema de funcionamento das caldeiras (Faria, Cruz et. al, 2007).



Figura 2.16 – Ampliação do edifício da AP (Vista SW) (fonte: cdme).

A partir de 1951, a Central Tejo passou a ter um papel secundário no setor de produção elétrica em Portugal, constituindo-se como uma Central de reserva, para apoiar o fornecimento de energia em anos hidrológicamente secos.

No final da década de 60, todo o equipamento de baixa pressão, presente no edifício de BP, é desmontado.

Em 1972 a Central Tejo funciona pela última vez, tendo sido desclassificada em 1975, isto é, deixou de ser prestigiada com um conjunto de normas que salvaguardassem o seu património como central de produção elétrica, fim a que se destinou a sua construção.

No ano seguinte (1976), a CT passa para a posse da EDP que decidiu, posteriormente, a sua reconversão em Museu de Eletricidade (1982). Em 1986, o conjunto da Central Tejo é classificado por decreto governamental como Imóvel de Interesse Público.

Atualmente, a Central Tejo está sob direção da Fundação EDP, que é responsável pela sua administração e conservação.

Em 1990 dá-se a inauguração do Museu da Eletricidade que é parte integrante do património e da própria estrutura da Fundação (ver **Figura 2.17**).



Figura 2.17 – Museu da eletricidade. Vista Sul (esquerda); vista SW (direita) [2].

2.3 – Considerações finais

Importa aqui referir que, a presente dissertação incide num dos edifícios pertencentes à Central Tejo II e no edifício da Central Tejo III, respetivamente os edifícios de Baixa Pressão e de Alta Pressão.

Relativamente a estes dois edifícios, apenas o edifício de Alta Pressão possui ainda hoje as caldeiras montadas no seu interior. Por outro lado, o edifício de Baixa Pressão encontra-se vazio, dando lugar a exposições e atividades proporcionadas pela Fundação EDP. A **Figura 2.18** apresenta uma planta dos edifícios estudados, complementada com algumas fotografias do seu interior e exterior.

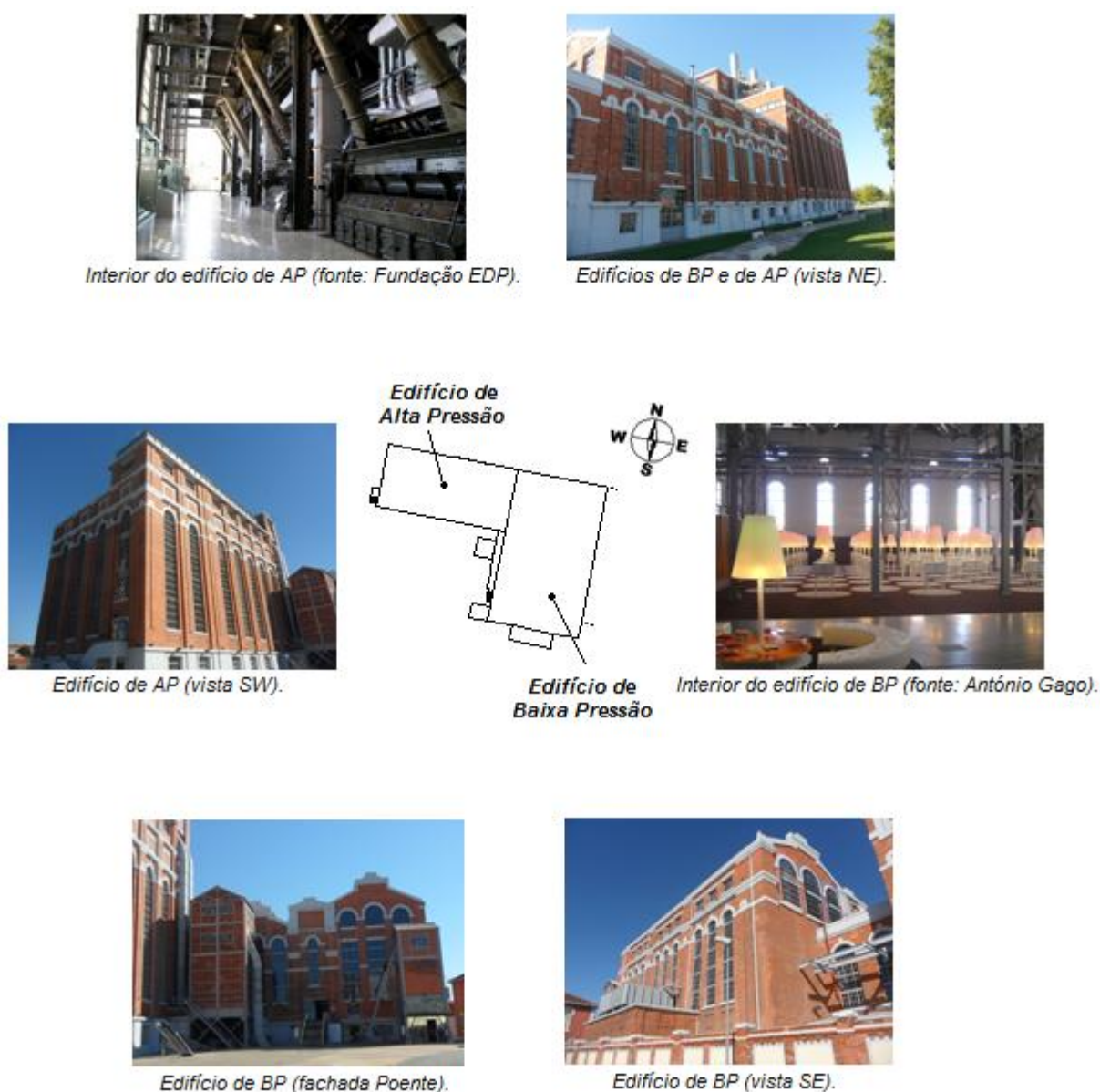


Figura 2.18 – Representação do interior e exterior dos edifícios de BP e AP.

3 – Descrição Estrutural e Construtiva dos edifícios de Baixa e de Alta Pressão da Central Tejo

3.1 – Considerações gerais

O capítulo 2 apresentou, de forma breve, a história da construção da Central Tejo, bem como algumas questões políticas associadas à compra e transporte dos equipamentos de produção e matéria-prima.

O presente capítulo procede à descrição estrutural e construtiva dos edifícios de Baixa e Alta Pressão da Central Tejo, bem como dos principais materiais aplicados. A referida descrição consistirá na seguinte abordagem:

- caracterização dos dois edifícios em termos da sua configuração e fases de construção ou ampliação;
- solução estrutural e construtiva dos edifícios;
- materiais utilizados na construção dos edifícios em análise.

A descrição dos edifícios estudados, das suas fases de construção e das soluções estruturais e construtivas foi realizada com base na análise de fotografias e plantas da época existentes no centro de documentação da Fundação EDP e complementada com a inspeção visual no local.

3.2 – Descrição genérica dos edifícios e suas fases de construção

A construção dos edifícios de Baixa e de Alta Pressão foi realizada em anos distintos. Na **Figura 3.1** é apresentada, de forma simplificada, a localização relativa dos edifícios em análise e as datas das diversas fases de construção.

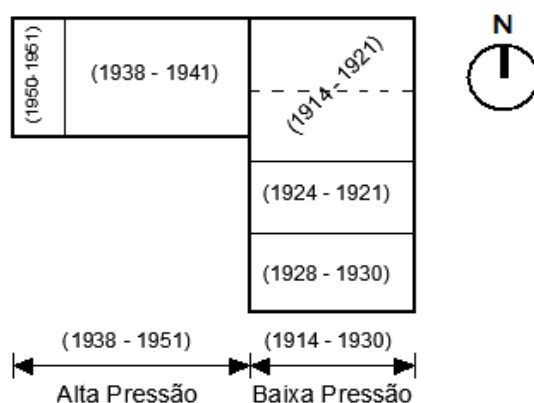


Figura 3.1 – Edifícios da BP e AP – principais fases construtivas.

O edifício de Baixa Pressão ficou completamente construído passados 16 anos do início da sua construção (de 1914 a 1930) e resultou de 3 fases construtivas distintas (de 1914 a 1921; de 1924 a 1928 e de 1928 a 1930), como foi referido no capítulo anterior. A primeira fase correspondeu à construção de 2 naves longitudinais e as restantes duas à ampliação do edifício (no sentido de Norte para Sul) com mais 2 naves.

O edifício de Alta Pressão teve duas fases de construção (de 1938 a 1941 e de 1950 a 1951), sendo que a última correspondeu à ampliação do edifício existente na altura (no sentido de Este para Oeste).

Ambos os edifícios possuem uma estrutura metálica, alvenarias de tijolo e 2 pisos.

A organização dos alçados em todo o conjunto dos dois edifícios é efetuada em três níveis distintos. O nível inferior, correspondente ao Piso 0, apresenta um acabamento com reboco de argamassa cimentícia cinzenta simulando pedra aparelhada, o nível intermédio é constituído por enormes janelões e, por fim, o último nível possui pequenos vãos, **Figura 3.2**. Segundo Mário Kong (*Kong, 2000*), todos os níveis são valorizados devido à presença de motivos arquitetónicos como pilastras, cimalkhas, vergas, capitéis, cornijas e arcos de volta perfeita.



Figura 3.2 – Alçado Sul da maquete da CT. Edifício da AP (esquerda); Edifício da BP (direita).

Seguidamente irão ser apresentados aspetos relacionados com a geometria dos dois edifícios. Uma vez que estes aspetos são intrínsecos a cada edifício irão ser apresentados de forma independente.

3.2.1 – Edifício de Baixa Pressão

Este edifício apresenta uma área de implantação rectângular com 53 metros de comprimento por 32 metros de largura, da qual resulta uma área total de aproximadamente 1700 metros quadrados. A cobertura inclinada com duas águas do edifício de Baixa Pressão é constituída

por um conjunto de asnas metálicas, sobre as quais se encontram apoiadas chapas metálicas revestidas por telha marselha. A altura da cumeeira, relativamente ao nível do terreno, varia de 19,5 metros, nas primeiras naves, e 23,6 metros na última nave construída. Na **Figura 3.3** é possível observar o alçado da fachada Poente deste edifício.

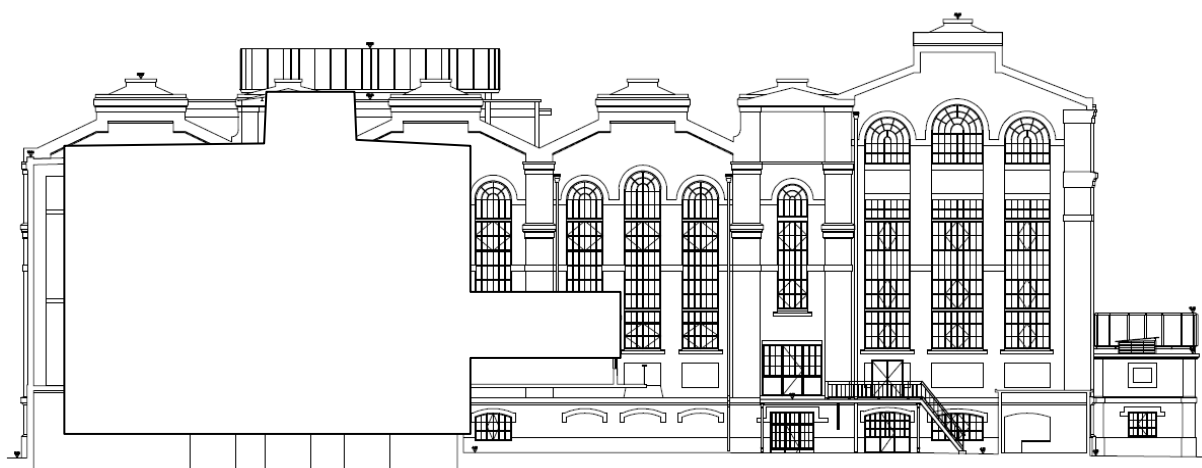


Figura 3.3 – Fachada Poente do edifício da Baixa Pressão.

A última nave longitudinal construída neste edifício (1928-1930) embora apresente uma geometria semelhante às anteriormente construídas, possui dimensões superiores, não só em altura como também em largura. A largura das naves varia entre cerca de 11 metros nas primeiras três naves e 12,5 metros na última nave.

O Piso 0 apresenta um pé direito de 3,5 metros, encontrando-se o seu pavimento a cerca de meio metro abaixo do nível do terreno.

Quanto ao seu funcionamento, este edifício albergava 11 caldeiras de baixa pressão dispostas da forma apresentada na figura seguinte (**Figura 3.4**).

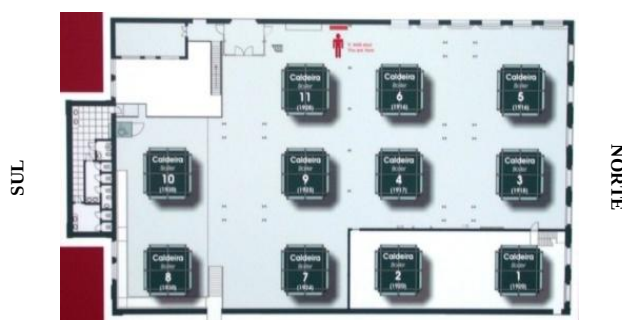


Figura 3.4 – Planta de disposição das caldeiras de BP (L.Cruz).

3.2.2 – Edifício de Alta Pressão

O Edifício de Alta Pressão foi o último edifício do conjunto Central Tejo a ser construído (1938-1951). Este edifício difere do edifício de Baixa anteriormente descrito não só por ser maior, como também por este apresentar uma estrutura metálica interna mais robusta e uma cobertura em terraço plana.

A construção do edifício de AP (1938) obrigou à demolição do que ainda restava da primitiva Central Tejo I – Central da Junqueira.

Antes da sua ampliação, no período de 1938 a 1950, o edifício apresentava uma geometria rectângular com cerca de 750 metros quadrados de implantação, com dimensões de 32 metros de comprimento por 23 metros de largura. A sua altura varia entre os 25 metros na fachada Norte e os 34,5 metros a Sul. A variação da altura do edifício deve-se ao facto de na fachada Sul, sobre o terraço, existir uma torre com cerca de 10 metros de altura e uma sala de transporte de carvão. No topo do edifício, sobre a sala do carvão, existe ainda um reservatório de água, com cerca de 2 metros de altura e uma capacidade de aproximadamente 270 mil litros de água (**Figura 3.5**). Todo o perímetro de terraço é limitado por uma platibanda em alvenaria de tijolo maciço, com cerca de 2,30 metros, dimensão esta que já se encontra contabilizada na altura referida para a fachada Norte.

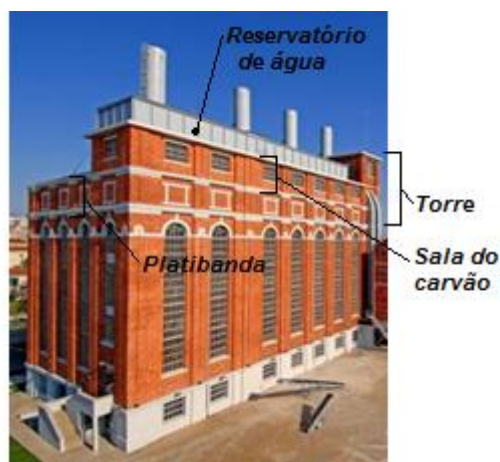


Figura 3.5 – Edifício da Alta Pressão (vista SW) (fonte: cdme).

Os pisos 0 e 1 possuem valores de pé-direito na ordem de 3,5 e 19 metros respetivamente. Em alguns locais a cota do pavimento do Piso 0 chega a atingir uma profundidade de cerca 1 metro abaixo do nível do terreno em alguns locais.

A ampliação deste edifício para instalação de uma nova caldeira (1950-1951) resultou no aumento do seu comprimento em mais de 12 metros, no sentido Nascente para Poente (Este-Oeste), perfazendo uma área total de cerca de 1000 metros quadrados, aumentando em cerca de 25% a área já existente. Esta ampliação refletiu-se ainda na sala do carvão e no reservatório de água, mantendo sobretudo os mesmos materiais utilizados na fase de construção anterior e cujos alçados do projeto se apresentam na **Figura 3.6**.

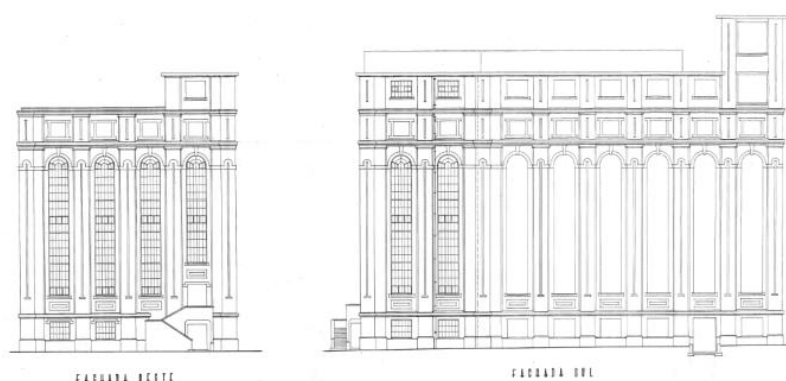


Figura 3.6 – Proposta de ampliação do Edifício da AP. Alçados Poente e Sul (fonte: cdme).

3.3 – Caraterização da solução estrutural e construtiva

A caraterização da solução estrutural e construtiva dos dois edifícios em análise, nomeadamente os edifício da Baixa Pressão e da Alta Pressão, será efetuada de forma independente, uma vez que foram construídos em épocas distintas. Para ambos os edifícios será efetuada referência às soluções presentes nas fundações; na estrutura; nas lajes de piso; na cobertura e nos vãos.

3.3.1 – Edifício de Baixa Pressão

Fundações

O projeto inicial de fundações do Edifício da Baixa Pressão previa a execução de estacas moldadas do tipo *Frankignoul*, de modo a transmitir de forma adequada as cargas da superestrutura ao terreno. As estacas seriam realizadas em betão armado e executadas segundo os processos e aparelhos da “*Compagnie Internationale des Pieux Armés Frankignoul de Liège (Belgique)*” (**Kong, 2001**). Estas estacas possuíam um bolbo de base alargada e tinham a particularidade de apresentarem diâmetros variáveis e inversamente

proporcionais à consistência das camadas de terreno que atravessavam, aumentando assim a sua aderência e consequentemente a sua estabilidade¹, **Figura 3.7**.

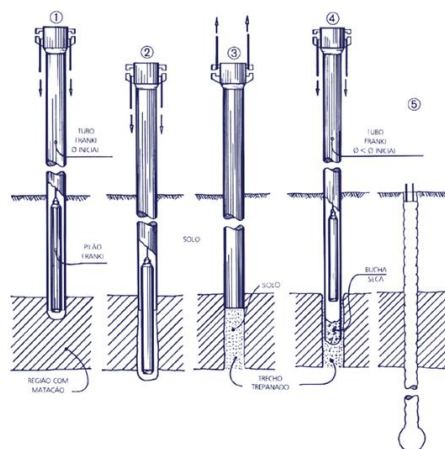


Figura 3.7 – Processo de execução da estaca Franki [3].

No entanto, e segundo alguns autores (**Faria, Cruz et. al, 2007**), o projeto inicial de fundações teve de ser alterado devido à impossibilidade registada na altura para o fornecimento dos materiais e equipamentos necessários para a aplicação do sistema. Assim, as estacas *Frankignoul* foram substituídas por poços (ou pegões) cheios de alvenaria de pedra até atingir a profundidade da rocha, cuja solidez e resistência foi garantida pelo empreiteiro Touzet (**Figura 3.8**).

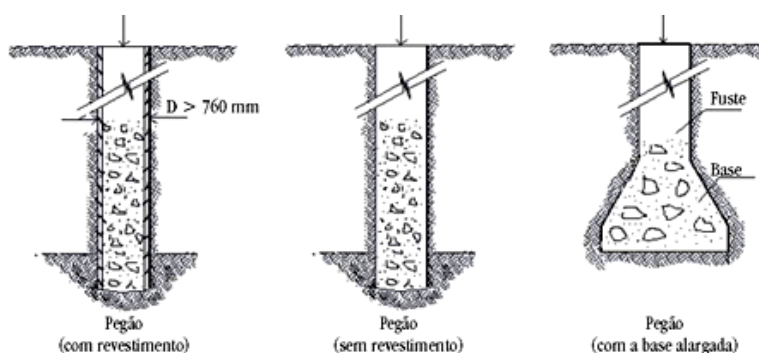


Figura 3.8 – Exemplo de poços/pegões [4].

As fundações deste edifício, bem como dos restantes que fazem parte da Central Tejo, incluem ainda um ensoleiramento geral em betão armado, com cerca de meio metro de altura, sobre a solução de estacaria ou de poço adotada. Na **Figura 3.9** é possível observar a

¹ Conteúdo complementado de acordo com o website [3].

execução do ensoleiramento geral aquando da construção da última nave do edifício da BP (1928).



Figura 3.9 – Execução do ensoleiramento geral. Edifício da BP (fonte: cdme).

Estrutura

Um aspeto importante a mencionar é o facto de haver uma variação significativa na estrutura e na construção das várias edificações. Variações estas que se chegam a verificar inclusive dentro do mesmo edifício, resultante das várias ampliações decorridas ao longo do tempo, tal como é o caso deste Edifício. Estas variações resultam não só na própria solução construtiva adotada, como também na diversidade de material utilizado na construção. A título de exemplo, analisemos a fachada Sul deste mesmo edifício (**Figura 3.10**) onde a presença de montantes verticais estruturais é reduzida (apenas 4) contrastando com a quantidade de vãos presentes. Por outro lado, a fachada Norte (**Figura 3.11**) aparenta ser mais resistente, pois embora com menos vãos, estes encontram-se distribuídos de forma mais uniforme apresentando o dobro dos montantes verticais relativamente à fachada Sul.

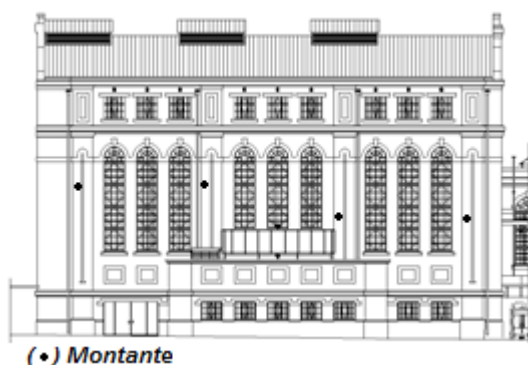


Figura 3.10 – Fachada Sul da BP.

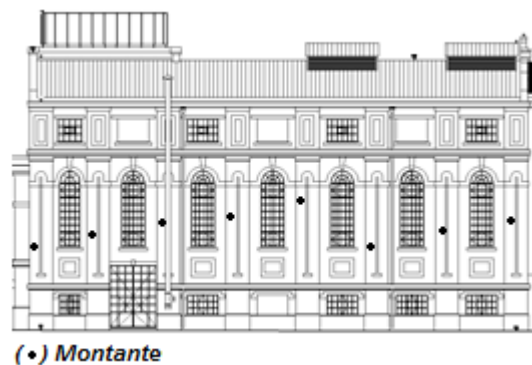


Figura 3.11 – Fachada Norte da BP.

Através da **Figura 3.12** verifica-se o início da montagem do esqueleto de estrutura metálica das fachadas sobre o ensoleiramento geral e, em simultâneo, a execução das paredes de alvenaria. Ainda na **Figura 3.12** é possível observar a anterior fachada Sul (1914 a 1928) que foi feita de forma provisória com chapas metálicas.

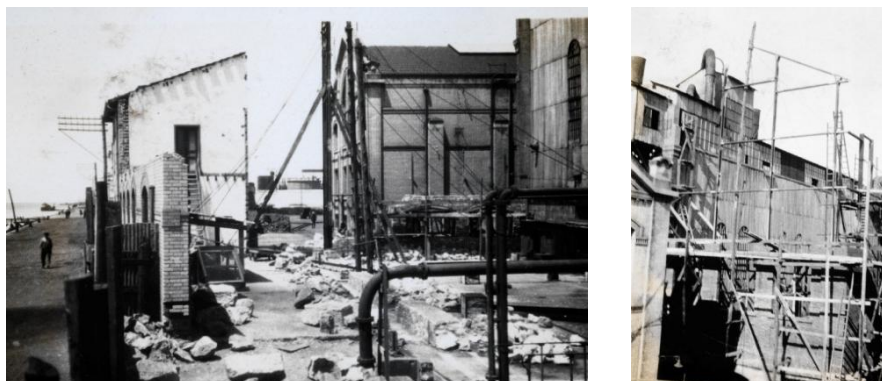


Figura 3.12 – Montagem da estrutura metálica aquando da última ampliação da BP. Vista SE (esquerda) e vista SW (direita) (fonte: cdme).

As fachadas são constituídas na sua maioria por paredes de alvenaria de tijolo maciço de face à vista ligados entre si com argamassa de assentamento.

Estas paredes de alvenaria têm a particularidade dos próprios tijolos serem dispostos em direções perpendiculares, formando uma espécie de *puzzle* em espessura (em planta). Esta disposição garante um melhor travamento das paredes de alvenaria.

Contudo, é difícil definir um só padrão de arranjo destes tijolos, quer em alçado, quer em espessura. Tal facto verifica-se, uma vez que é possível, no mesmo paramento, encontrar diversos arranjos como se pode visualizar, por exemplo, na fachada Poente do edifício da Baixa Pressão, **Figura 3.13**.



Figura 3.13 – Alvenaria de tijolo maciço. Padrões de arranjo dos tijolos.

A **Figura 3.14** mostra um exemplo da disposição predominante dos tijolos nas fachadas do edifício, sendo apresentados os pormenores em alçado e em planta.

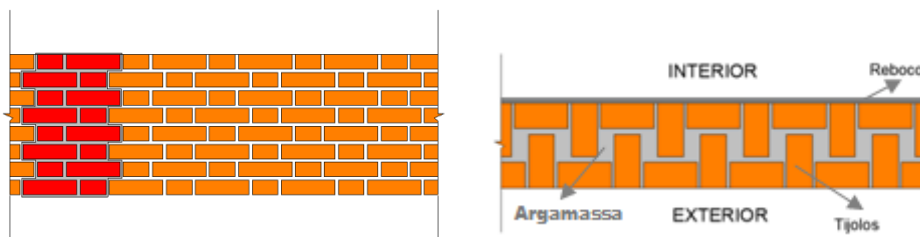


Figura 3.14 – Padrão predominante de arranjo dos tijolos nas fachadas. Alçado (esquerda) e planta (direita).

As paredes de alvenaria de tijolo apresentam uma espessura compreendida entre os 40 e os 50 centímetros, respetivamente na zona dos vãos e na zona dos montantes.

As paredes do piso térreo (Piso 0) são constituídas por alvenaria de pedra ordinária (**Figura 3.15**), e possuem espessura que pode variar entre os 50 centímetros e os 80 centímetros, em algumas paredes.



Figura 3.15 – Execução da alvenaria ordinária de pedra. Construção da última nave de BP (fonte: cdme).

Laje de Piso

A laje original que separava os dois pisos do edifício de Baixa Pressão era constituída por perfis metálicos, nos quais se apoiavam tijolos cerâmicos maciços, de modo a formar um arco apoiado nos seus bordos. O acabamento superficial da laje era obtido recorrendo à aplicação de uma camada de betonilha de regularização.

As caldeiras de baixa pressão foram montadas em toda a altura do edifício, atravessando inclusive a laje de piso.

A remoção de todo o equipamento de baixa pressão, no final da década de 60, deixou a laje de separação dos dois pisos do edifício com diversas aberturas. Estas aberturas foram fechadas com uma solução de abobadilhas cerâmicas e vigotas de betão pré-esforçadas. A **Figura 3.16** evidencia as diferenças entre os dois tipos de solução presentes atualmente.



Figura 3.16 – Laje do edifício de Baixa Pressão. Solução original da laje de pavimento (esquerda) e solução adotada no fecho das aberturas da laje (direita) (fonte: Fundação EDP).

Cobertura

A cobertura deste edifício foi efetuada com recurso a telha de marselha com algumas áreas em claraboia, de modo a facilitar a entrada de luz solar. Esta solução encontra-se assente sobre uma estrutura triangulada constituída por cantoneiras de ferro.

Vãos

As caixilharias dos vãos do edifício são metálicas e encontram-se fixas aos panos de alvenaria confinantes. As caixilharias foram soldadas em perfis metálicos, previamente encastrados nos panos confinantes, garantindo a sua fixação, **Figura 3.17**.



Figura 3.17 – Janelão com caixilharia metálica (visto do interior).

3.3.2 – Edifício de Alta Pressão

Fundações

A fundação deste edifício foi realizada com recurso a estacas de betão armado, moldadas em obra, com geometria cilíndrica e diâmetro de 45 cm, sobre as quais foi executado um ensoleiramento geral em betão armado com meio metro de espessura.

Estrutura

A estrutura deste edifício possui características que a distingue da estrutura do edifício de BP, embora em ambos os casos seja constituída por uma estrutura metálica e alvenaria de tijolo. A construção do edifício de AP teve início com a montagem da estrutura de ferro e das caldeiras (com exceção dos seus ventiladores e chaminés) (**Figuras 3.18 e 3.19**), e só depois destas estruturas estarem devidamente montadas é que se procedeu à construção dos panos de alvenaria, das lajes de piso e do terraço. Apesar da montagem da estrutura do edifício e das caldeiras ter ocorrido em simultâneo, elas funcionam de forma independente. A estrutura das caldeiras foi dimensionada com as suas devidas folgas, de modo a acomodar as suas dilatações e evitar a transmissão de vibrações ao edifício ou estrutura do mesmo.



Figura 3.18 – Maquete da estrutura metálica do Edifício de Alta Pressão (fonte: cdme).

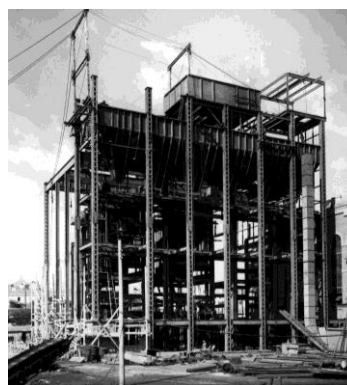


Figura 3.19 - Montagem da estrutura e caldeiras do Edifício de AP (fonte: cdme).

As fachadas do edifício de AP são todas constituídas por panos de alvenaria de tijolo maciço em toda a sua extensão, distinguindo-se das fachadas do edifício de BP, em que no Piso 0 as paredes são constituídas por alvenaria de pedra ordinária. A disposição dos tijolos, aquando do seu assentamento, foi executada de forma idêntica à descrita para o edifício de Baixa Pressão. A **Figura 3.20** mostra a etapa inicial de execução da alvenaria no Piso 0, onde é possível verificar que se trata de alvenaria de tijolo.



Figura 3.20 – Assentamento da alvenaria no Piso 0 do edifício de AP (fonte: cdme).

O embasamento (Piso 0) das paredes foi posteriormente revestido, pelo exterior, com um reboco de argamassa cimentícia simulando pedra aparelhada.

As paredes de alvenaria possuem uma espessura total da ordem dos 50 centímetros no Piso 0 e de 40 centímetros no Piso 1. Na zona envolvente dos montantes as paredes chegam a atingir espessuras da ordem dos 60 a 70 centímetros, respetivamente na zona intermédia e na zona dos frisos e embasamento (**Figura 3.21**).

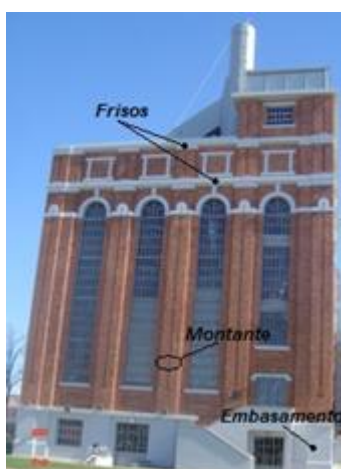


Figura3.21 – Representação de vários elementos da fachada. Fachada Poente do edifício de BP (fonte: António Gago).

Laje de Piso

A laje que separa os dois pisos foi executada recorrendo a um sistema misto de betão armado e estrutura metálica à base de perfis laminados.

Cobertura

O edifício apresenta uma cobertura em terraço em laje de betão armado, na qual se inserem os ventiladores e chaminés extratoras dos gases da combustão, bem como a sala do carvão, o reservatório de água e a torre.

Vãos

Outra particularidade deste edifício é o facto dos seus vãos possuírem grandes dimensões (cerca de 13 metros e meio de altura por 2 metros de largura) e a sua caixilharia ser constituída por elementos de betão armado prefabricados, que foram montados em obra (Figura 3.22).

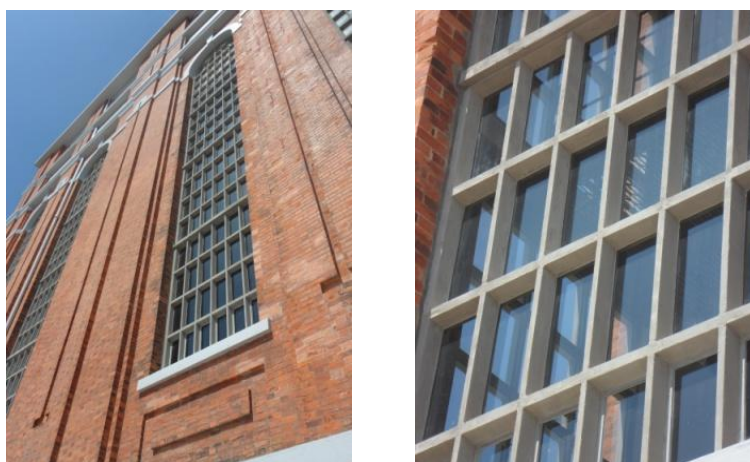


Figura 3.22 – Janelões em betão armado. Fachada Sul da AP.

3.4 – Inventariação e análise dos materiais

3.4.1 – Considerações gerais

Este subcapítulo procede à descrição dos principais materiais presentes nos edifícios de BP e AP: materiais cerâmicos, argamassas, elementos metálicos e elementos de betão.

Embora também existam elementos pétreos, nomeadamente na constituição das alvenarias de pedra ordinária, estes não irão ser abordados, uma vez que só existem num dos edifícios (o de Baixa Pressão).

O presente subcapítulo foi elaborado fundamentalmente recorrendo à informação passível de ser obtida por inspeção visual, na sequência das várias visitas realizadas a estes dois edifícios, uma vez que a informação documentada relativa aos materiais e aos aspetos técnicos de execução dos edifícios é algo escassa.

3.4.2 - Edifício de Baixa Pressão

Materiais cerâmicos

Os materiais cerâmicos com maior incidência no edifício são os tijolos constituintes nas paredes de alvenaria das fachadas. Os tijolos são do tipo maciço, podendo ainda ser encontrados, em algumas situações associadas a substituições/reparações, tijolos perfurados cujos furos se encontram perpendicularmente ao leito de assentamento (**Figura 3.23**). Esses dois tipos de tijolo foram aplicados com face à vista sem qualquer tipo de revestimento e apresentam dimensões da ordem de 22x11x7 [cm].

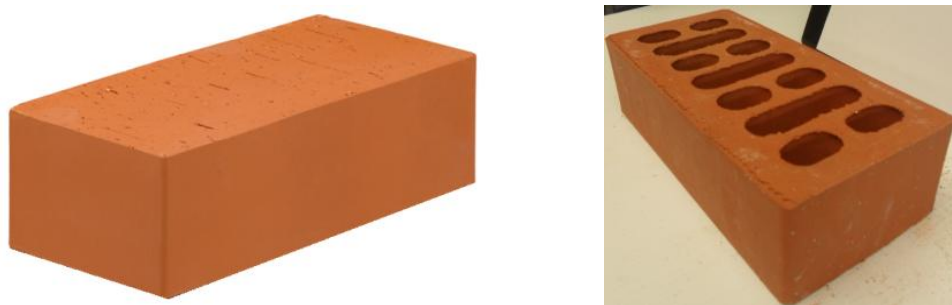


Figura 3.23 – Tipos de tijolo: maciço (esquerda) e perfurado (direita).

Estes mesmos tijolos são também elementos constituintes da laje de pavimento, onde se encontram posicionados em forma de arco funcionando à compressão, como referido anteriormente (em 3.3.1). A **Figura 3.24** apresenta um pormenor tipo da solução da laje de pavimento.

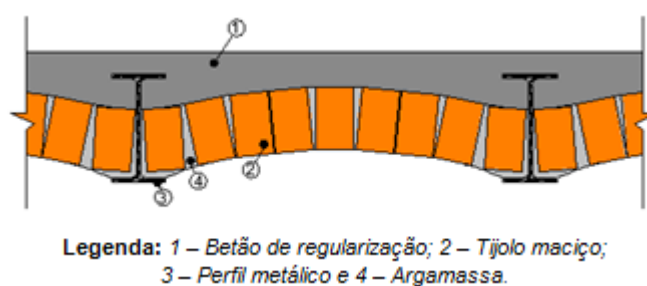


Figura 3.24 – Pormenor tipo da laje da BP.

As abobadilhas cerâmicas (**Figura 3.25**) e as telhas do tipo marselha (revestimento da cobertura) são exemplos de outros materiais cerâmicos presentes no edifício da BP. As abobadilhas cerâmicas encontram-se na constituição da laje de piso nas zonas anteriormente atravessadas pelas caldeiras, que foram removidas no final da década de 60.



Figura 3.25 – Exemplo de abobadilha cerâmica [5].

Argamassas

A análise da informação pertencente às antigas CRGE, efetuada por Mário Kong (**Kong, 2001**), com base num Mapa de Quantidades de Trabalho, permite verificar que foram utilizadas diversas composições de argamassas. Embora inicialmente estivesse prevista a execução das paredes de alvenaria ordinária de pedra com argamassa de cimento, e as restantes alvenarias de tijolo maciço com argamassa de cal, a execução das fachadas recorreu apenas a argamassas à base de cal. Nas alvenarias de tijolo foi utilizada uma argamassa com um traço volumétrico de 1:2 (1 Cal: 2 Areia) e nas alvenarias ordinárias recorreu-se a uma argamassa de cal e pozolanas com um traço volumétrico de 1:0,5:2 (1 Calda de cal: 0,5 pozolanas: 2 Areia).

A observação visual das fachadas Norte e Sul do edifício da BP permite identificar diferenças nas argamassas de junta, **Figura 3.26**. A argamassa da fachada Norte apresenta tonalidade mais clara e regista a presença de nódulos brancos, habitualmente associada a argamassas de cal aérea. A argamassa presente na fachada Sul possui tonalidade acinzentada, indiciando a possível presença de ligante hidráulico (cal hidráulica e/ou cimento).

Note-se que, as aparentes diferenças de composição das argamassas presentes nas 2 fachadas podem ficar a dever-se ao facto da sua construção não ter sido simultânea. A fachada Norte terá sido construída entre 1914 e 1921, enquanto a fachada Sul foi construída entre 1928 e 1930.

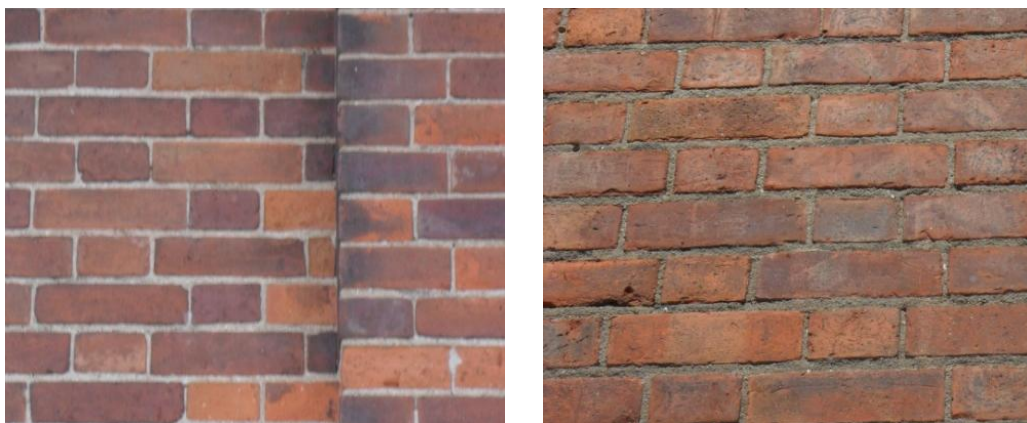


Figura 3.26 – Alvenaria de tijolo na BP. Fachadas Norte (esquerda) e Sul (direita).

Um estudo elaborado pelo LNEC relativo à composição química e mineralógica de uma pequena amostra de argamassa, retirada dum muro de alvenaria de tijolo da Central Tejo (**LNEC, 2001**), revelou a presença de pequenos nódulos brancos, indicativo da presença da cal aérea. Esta mesma amostra de argamassa apresentava porosidade reduzida e era bastante resistente, o que é pouco habitual em argamassas só de cal aérea. A relação ponderal aproximada para o traço volumétrico determinado nesta caracterização foi de 1:2:7,7 (1 Cal Hidráulica: 2 Cal Aérea: 7,7 Areia).

A observação da generalidade das fachadas do edifício de BP permite verificar a presença de juntas com características diferentes, não só entre fachadas, como também numa única fachada (**Figura 3.27**). As diferenças no aspeto das juntas que se registam em cada fachada são geralmente consequência do facto de terem sido submetidas a intervenções de refechamento de juntas ou substituição de tijolos, ao longo do tempo, **Figura 3.27**.



Figura 3.27 – Diversidade de argamassas presentes na fachada Norte do edifício de BP.

Elementos metálicos

Os elementos metálicos em ferro têm uma grande importância no edifício da BP, dado que a sua estrutura é em ferro revestida a tijolo. A estrutura é constituída por um conjunto de montantes e os pavimentos obtidos por recurso a perfis em forma de I. A **Figura 3.28** apresenta uma foto do pavimento do Piso 1, obtida ao nível do Piso 0, onde é possível observar a estrutura do pavimento.

A estrutura da cobertura do edifício de BP é constituída por um conjunto de treliças metálicas, compostas por várias cantoneiras de ferro, **Figura 3.29**.



Figura 3.28 – Estrutura metálica da BP.

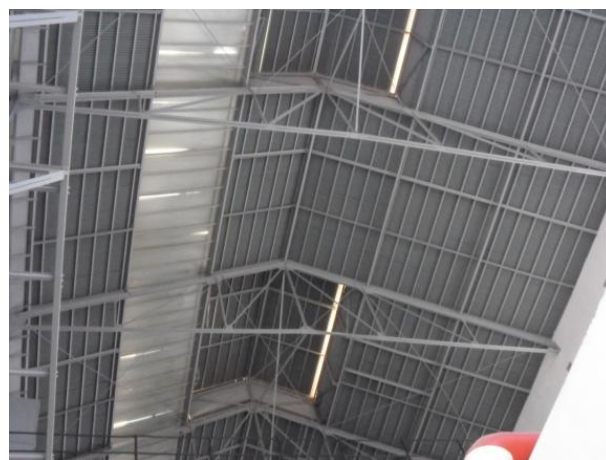


Figura 3.29 – Estrutura da cobertura do edifício de BP.

Elementos de Betão

O betão é o material presente nas fundações e ensoleiramento geral do edifício, bem como na laje do piso reconstruída em 2003. Existe ainda betão armado na constituição dos frisos, como foi observado na cimalha superior da fachada Sul deste mesmo edifício.

O Mapa de Quantidades de Trabalho (MQT) analisado por Kong (**Kong, 2001**) faz referência à utilização de três tipos de betão na construção desse edifício, nomeadamente o betão usado nas fundações e no ensoleiramento, o betão de enchimento e o betão armado usado nos pisos e montantes.

O betão usado foi formulado com seixos do rio ou cascalho basáltico, areia e cimento. O aço utilizado encontrava-se sob a forma de varões lisos.

3.4.3 - Edifício de Alta Pressão

Materiais cerâmicos

No edifício da Alta Pressão a presença de materiais cerâmicos encontra-se na constituição das paredes de alvenaria das fachadas. Os tijolos presentes são do tipo maciço, sendo também possível encontrar zonas com tijolos perfurados que resultaram de intervenções de reparação localizadas.

Argamassas

As argamassas presentes neste edifício encontram-se essencialmente na constituição das alvenarias. Por observação visual é possível verificar que elas apresentam uma cor semelhante à cor parda do cimento o que induz estarmos na presença de argamassa hidráulica, formulada com cal hidráulica e/ou cimento Portland, **Figura 3.30**.



Figura 3.30 – Alvenaria de tijolo na fachada Sul da AP.

Elementos metálicos

O Edifício de AP regista uma presença significativa de elementos metálicos.

No interior do edifício é possível observar a presença da estrutura metálica em ferro, constituída por um conjunto de montantes e vigas, as caldeiras e as estruturas de ferro servindo de suporte às referidas caldeiras.

De um modo geral, todos os elementos estruturais incorporam perfis com secção em I, **Figura 3.31**.

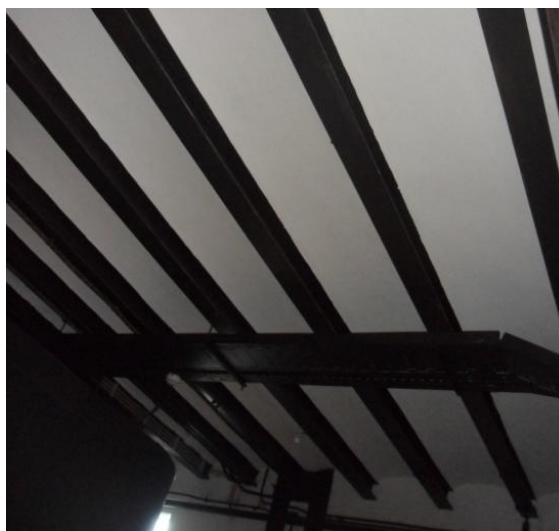


Figura 3.31 – Perfis metálicos com secção em "I" na laje de piso do edifício de AP.

Relativamente aos montantes verticais constituintes da estrutura do edifício são formados, na sua maioria, por uma associação de três perfis em I conectados por intermédio de uma solução de rebites, **Figura 3.32**. Estes montantes possuem um conjunto de chapas soldadas, ao longo do seu comprimento, com o objetivo de garantir a estabilidade dos banzos.



Figura 3.32 – Montantes verticais. No interior do edifício (esquerda) e na fachada visto do interior do edifício (direita).

Elementos de Betão

No que toca a elementos de betão armado, temos o caso das fundações e ensoleiramento geral, as lajes de piso e a laje de cobertura, e ainda os janelões que preenchem os vãos deste mesmo edifício. Importa referir o facto dos janelões presentes atualmente neste edifício não são os originais, uma vez que estes foram alvo de uma integral substituição em 1996.

4 – Intervenções e seus principais intervenientes

4.1 – Considerações gerais

O conjunto de edifícios que constituem a Central Tejo, desde a sua construção até ao presente, resulta de diversas intervenções realizadas para dar resposta a necessidades de funcionamento, alteração de funcionalidades, manutenção e degradação ao longo do tempo.

Em termos funcionais, podemos fazer referência a três fases importantes. Uma primeira fase, em que a Central Tejo funcionou para dar resposta aos objetivos que levaram à sua construção, como própria central elétrica. Uma segunda fase, em que a Central ficou desativada e passou a ser propriedade da EDP, funcionando os edifícios apenas como armazém. Por último, a fase em que se encontra hoje que resultou da musealização de dois dos seus edifícios, constituindo o atual Museu da eletricidade, sob coordenação da Fundação EDP.

Relativamente às duas primeiras fases referidas, não existem registos, nem documentos, que descrevam as intervenções realizadas durante esse período. A enorme variabilidade de materiais presentes nas diversas fachadas dos edifícios, pressupõe que tenham ocorrido diversas intervenções de reparação.

As intervenções que se encontram documentadas são as realizadas mais recentemente, em 2001 e 2011, na fase em que o Museu de Eletricidade se encontra instalado na Central Tejo. A primeira intervenção consistiu na empreitada de *“Reabilitação do Museu de Eletricidade”* e foi levada a cabo pela empresa Mota-Engil. Os trabalhos da segunda e última intervenção foram realizados no âmbito da Empreitada *“Eliminação de Entradas de Água no Museu da Eletricidade”*, pela empresa STB – Reabilitação do Património Edificado, Lda, e tiveram como objetivo eliminar os problemas de infiltração de água responsáveis por anomalias verificadas nas fachadas e coberturas.

Seguidamente são analisadas estas duas grandes intervenções, referindo-se os principais edifícios intervencionados em cada uma, bem como os seus principais intervenientes.

4.2 – Descrição das intervenções

4.2.1 – Intervenção de 2001

Esta intervenção desenvolveu-se durante um período de aproximadamente cinco anos e foi dividida em duas fases, realizadas de forma descontínua nesse período temporal. A 1ª Fase consistiu na reabilitação das oficinas e armazéns, enquanto a 2ª Fase incidiu sobre os edifícios principais da Central Tejo.

De acordo com um artigo publicado na revista *Ingenium* (**Santos, Faria et. al, 2006**), a primeira fase desta grande intervenção iniciou-se em 2001 com a reabilitação das oficinas e armazéns, tendo sido precedida por uma inspeção, levada a cabo por parte do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), que apoiou a definição do projeto de reabilitação e respetivo caderno de encargos.

O concurso para a reabilitação dos edifícios principais (Edifício de Alta Pressão, Edifício de Baixa Pressão, Edifício da Sala das Máquinas), correspondeu à 2ª Fase de intervenção e só foi lançado em 2002, tendo a empresa vencedora deste concurso, o Grupo Mota-Engil, iniciado a obra em meados de 2003, e permanecendo no terreno em trabalhos até meados de 2006. A **Figura 4.1** identifica os edifícios abrangidos por estas duas fases de intervenção.



Figura 4.1 – Edifícios abrangidos pela intervenção, em 2001 (azul) e 2003 (vermelho) [1].

As atividades de coordenação, fiscalização e controlo de qualidade desta obra foram realizadas com o apoio do ISQ, que prestou apoio técnico ao dono de obra na empreitada de reabilitação dos edifícios do Museu da Eletricidade, incluindo a adaptação dos espaços existentes a novas funcionalidades².

²Informação retirada do *website* do Instituto de Soldadura e Qualidade [6].

Esta mesma intervenção foi também acompanhada pelo Instituto Português do Património Arquitetónico (IPPAR), atual IGESPAR, que, ainda segundo o mesmo artigo, se pronunciou sobre várias intervenções propostas pela equipa de projeto, uma vez que a intervenção em edifícios classificados deve respeitar os princípios – autenticidade, reversibilidade, compatibilidade e intervenção mínima – relacionados com a boa prática da conservação do património edificado. Citando ainda a Carta de Veneza, Santos (**Santos, 2009**), afirma que *“Os elementos destinados a substituírem as partes que faltem, devem integrar-se harmoniosamente no conjunto e, simultaneamente, serem distinguíveis do original para que o restauro não falsifique o documento artístico ou histórico”*.

Estas obras visaram a reparação das patologias detetadas, abrangendo estruturas e equipamentos metálicos, fachadas, elementos de betão, caixilharias e serralharias, coberturas e impermeabilizações, revestimentos e pinturas.

Segundo os autores do mesmo artigo (**Santos, Faria et. al, 2006**) o volume de trabalhos executados pode ser apresentado de forma resumida em termos quantitativos da seguinte forma:

- “- Cerca de 7500 tijolos substituídos;*
- Cerca de 5000 metros quadrados de fachada tratados;*
- 15000 metros quadrados de elementos metálicos tratados;*
- 10000 metros quadrados de rebocos.”*

Foram efetuados diversos trabalhos nos elementos metálicos, tais como a escovagem manual e mecânica, desgorduramento e aplicação de um esquema de proteção anticorrosiva, sendo em alguns casos substituídos/reforçados alguns dos elementos estruturais existentes, uma vez que os elementos metálicos em geral apresentavam sinais de acentuada corrosão e envelhecimento, bem como danificações no esquema de pintura como é possível observar na **Figura 4.2**.



Figura 4.2 – Elementos metálicos corroídos (Santos, Faria et. al, 2006).

O edifício de BP foi o mais intervencionado, uma vez que a zona envolvente dos montantes apresentava fendas com grande abertura. A principal causa apontada para a origem destas enormes fendas, foi o processo expansivo de corrosão da estrutura metálica embebida no interior dos montantes.

Para a selagem de fissuras/fendas existentes nas alvenarias do edifício de BP, com o objetivo de as estabilizar, o empreiteiro recorreu a caldas cimentícias. No âmbito dos estudos de preparação da última empreitada de intervenção (2011), a opção de injeção das caldas, executadas em 2003, revelou-se uma solução insuficiente e responsável pelo incremento de tensões internas nas alvenarias, que agravou a deformação e instabilização dos panos de alvenaria por estas caldas apresentarem elevada rigidez (STB, 2012) (**Figura 4.3**).



Figura 4.3 – Agravamento da abertura de fendas na zona de anterior injeção de calda (fonte: STB).

Os trabalhos realizados procuraram eliminar diversas patologias presentes nas alvenarias de tijolo das fachadas, tais como: elementos em desagregação, pulverulência e fenómenos de degradação, elementos fraturados ou fissurados e, em alguns casos, a presença de algas e líquenes nos paramentos. Para tal, procedeu-se à remoção e substituição de tijolos por tijolos maciços aplicados com argamassa, bem como à lavagem e aplicação de um produto

hidrofugante de proteção em todas as fachadas dos edifícios, de modo a reduzir a absorção de água dos tijolos e argamassas (**Figuras 4.4 e 4.5**).



Figura 4.4 – Degradação dos tijolos (fonte: Fundação EDP).



Figura 4.5 – Elementos de alvenaria fraturados (fonte: Fundação EDP).

Os elementos de betão armado foram reparados recorrendo a uma argamassa tixotrópica monocomponente (**Santos, Faria et. al, 2006**). A laje de piso do Edifício da Baixa Pressão, devido ao seu avançado estado de degradação, foi demolida, o que obrigou à sua total reconstrução. Com o objetivo de garantir a “arquitetura” inicial da laje demolida, procedeu-se à execução da nova laje em betão armado com moldes na face inferior apoiados sobre perfis metálicos. A **Figura 4.6** mostra pormenores desta mesma reconstrução.



Figura 4.6 – Reconstrução da laje em betão armado no edifício da Baixa Pressão (fonte: Fundação EDP).

4.2.2 – Intervenção de 2011

Esta intervenção, que decorreu no período compreendido entre final de 2011 e meados de Maio de 2012, contou também com a participação do ISQ, que elaborou um relatório prévio das anomalias presentes, bem como uma proposta para a sua resolução e futura manutenção.

O estudo das anomalias inclui também o controlo da abertura de fendas em diversas paredes e vários edifícios, bem como a sua correspondente monitorização³.

As fendas de abertura considerável nos panos de alvenaria, a abundante fissuração de diversos elementos pertencentes às fachadas, o descasque e a delaminação superficial de elementos de betão armado foram algumas das principais anomalias que justificaram esta intervenção.

A empreitada incidiu sobre os edifícios intervencionados na 2ª Fase da empreitada de 2001, ou seja, nos edifícios da BP, da AP e da Sala das Máquinas (**Figura 4.1**), e ainda o edifício da Subestação, sendo o edifício de BP aquele cujo estado de degradação era mais crítico, principalmente a fachada Sul.

Adicionalmente os janelões das fachadas dos Edifícios de BP e de AP, bem como as caleiras e os tubos de queda contíguos às fachadas, foram ainda alvo de intervenção por forma a eliminar e mitigar as entradas de água no Museu da Eletricidade.

Esta reabilitação foi gerida pelo departamento de Fiscalização e Gestão de Obras da EDP Valor em conjunto com uma equipa do Museu da Eletricidade.

A empresa encarregue de executar esta intervenção foi a STB – Reabilitação do Património Edificado, Lda, com o apoio da empresa simple.works! em matéria de inspeção, diagnóstico e elaboração do projeto de reabilitação.

A proposta apresentada por parte do ISQ referente à selagem das fendas/fissuras, recorrendo à injeção de caldas, não foi executada. A difícil reversibilidade da solução, a inadequação ao tipo de estrutura de alvenaria, a potencial alteração do aspeto da fachada e acima de tudo a existência de experiência anterior em que as injeções resultaram em patologias (por falta de controlo de qualidade na pressão da injeção) justificaram a decisão conjunta do dono de obra e empresa contratante de não aplicar essa solução.

A STB apresentou uma proposta de solução para o reforço das alvenarias com recurso a novos sistemas e tipo de soluções da *HELIFIX*, as quais foram aceites e posteriormente adjudicados pelo cliente e que irão ser descritas mais à frente.

³ Informação retirada do *website* do Instituto de Soldadura e Qualidade [7].

5 – Análise da intervenção de 2011

5.1 – Considerações iniciais

As intervenções de manutenção ou conservação de edifícios são de extrema importância para evitar ou limitar a ocorrência de anomalias. A ausência de manutenção permite que os fenómenos uma vez iniciados progridam livremente, muitas vezes originando, pelos seus efeitos, o desencadear de novas anomalias e assim gerando situações de degradação acelerada. No entanto, é importante mencionar que a utilização nas operações de manutenção de materiais ou técnicas diferentes das usadas na construção original pode gerar situações de incompatibilidade de funcionamento conjunto, com consequências negativas (*Aguiar, Cabrita et. al, 1998*).

Importa efetuar uma cautelosa identificação das anomalias e determinação das suas principais causas e proceder à sua eliminação ou correção, uma vez que, e segundo Appleton (*Appleton, 2010*), as anomalias devidas ao deficiente comportamento de fundações e estruturas são muito importantes, porque podem corresponder a problemas graves de segurança, incluindo o risco de colapso dos edifícios.

O presente capítulo analisa aspetos relativos à última intervenção realizada (2011), até ao momento, nos edifícios de BP e AP. Neste contexto irão ser referidas e analisadas as anomalias e principais causas que justificaram esta mesma intervenção, bem como serão identificados os principais trabalhos realizados, e descritas as principais técnicas e materiais aplicados.

Nos subcapítulos que se seguem irão ser apresentados, de uma forma genérica, os diferentes tipos de anomalias encontradas em alguns elementos das fachadas como: as paredes de alvenaria de tijolo, os elementos rebocados e de betão armado.

Muito embora este trabalho incida sobre as fachadas dos edifícios, é importante mencionar que existiam diversas anomalias em outros elementos, que vão desde as infiltrações decorrentes da má conceção ou degradação da impermeabilização dos terraços e coberturas inclinadas, até mesmo a problemas associados ao correto transporte e encaminhamento de águas pluviais. As caixilharias metálicas dos vãos do edifício da BP manifestavam sinais evidentes de corrosão, empenos significativos e a falta de estanquidade.

Os principais trabalhos realizados nas fachadas dos edifícios de BP e AP no âmbito desta empreitada são: a consolidação de panos de alvenaria, a selagem de fissuras e substituição parcial e integral de tijolos nas alvenarias.

5.2 – Anomalias presentes nas fachadas antes da intervenção

5.2.1 – Considerações gerais

As principais anomalias que justificaram a realização de trabalhos no âmbito desta empreitada foram: fendilhação e fissuração de elementos de alvenaria e reboco, o descasque e delaminação superficial de elementos de betão armado.

5.2.1 – Anomalias em paredes de alvenaria de tijolo

A alvenaria de tijolo maciço é o elemento preponderante das fachadas. Estes elementos são construídos para funcionar à compressão e recorrem geralmente a materiais com uma muito reduzida resistência à tração, podendo facilmente exibir fendilhação interna ou separação entre elementos (*ICOMOS, 2003*).

As anomalias presentes nos panos de alvenaria identificadas pelo ISQ (*Costa, Santos, 2010*), numa fase anterior à execução da última intervenção, consistiam essencialmente na presença de fendilhação e fissuração das fachadas, com fracturação dos tijolos e da argamassa de assentamento. A corrosão de perfis metálicos no interior da alvenaria constitui-se como a causa mais favorável destas anomalias nos edifícios da CT. Outras possíveis causas para este tipo de patologia são: variações térmicas na própria alvenaria ou em outros elementos a ela ligados; a expansão da alvenaria por ação da humidade; e os impulsos horizontais induzidos por estruturas de cobertura inclinada (*Aguiar, Cabrita et. al, 1998*) (*Figura 5.1*).



Figura 5.1 – Fissuração e fendilhação de panos de alvenaria (fonte: STB).

Outras anomalias detetadas no pano exterior de alvenaria passavam em grande parte pela desagregação, a delaminação acentuada, a degradação superficial dos tijolos, a falta de coesão no material de preenchimento das juntas e ainda, em alguns casos, a ausência de argamassa nas juntas. A **Figura 5.2** exemplifica algumas destas anomalias.



Figura 5.2 – Anomalias em alvenaria de tijolo. i) Delaminação de tijolos e falta de coesão das juntas; ii) degradação de tijolos e iii) falta de material nas juntas (fonte: STB).

Uma análise cuidadosa das fachadas permitia identificar a presença de tijolos substituídos, numa fase posterior à construção dos edifícios, que apresentavam sinais de maior degradação do que os próprios tijolos originais, eventualmente por estes apresentarem uma menor qualidade, características que não favoreciam o respeito do princípio de compatibilidade entre materiais ou por o seu assentamento ter sido feito com recurso a argamassas incorretas, **(Martins, 2012)**.

As fachadas registavam ainda a presença de eflorescências, causadas pela presença de sais solúveis, vegetação parasitária e colonização biológica, manchas negras de poluição e/ou sujidade e ainda zonas onde se denotava alterações de tonalidade.

O conjunto destas anomalias apresentava-se distribuído por todas as fachadas dos edifícios, com maior incidência nas fachadas Sul e Oeste, fachadas com maior suscetibilidade a ventos e ação de cloretos provenientes do rio Tejo. A este tipo de anomalias está associado um grau de risco considerado elevado, uma vez que podem originar a redução da resistência significativa dos materiais, associada ao desenvolvimento de fissuras e fendas.

5.2.2 – Anomalias em rebocos

Os elementos rebocados presentes nos edifícios de BP e AP encontram-se localizados ao nível do piso térreo de ambos os edifícios, nas cimalthas, nos frios, nos peitoris e nas vergas.

Estes rebocos apresentavam fissuração e fendilhação com diferentes níveis de abertura e forma, desde fendas com aberturas consideráveis até fissuras de abertura reduzida (**Figura**

5.3). A fissuração dos rebocos encontrava-se em todas as fachadas dos edifícios, resultando na maioria das situações como o prolongamento das fendas e fissuras presentes nos panos de alvenaria de tijolo.



Figura 5.3 - Fendilhação (esquerda) e fissuração (direita) em argamassas de reboco (Costa, Santos, 2010).

Em algumas zonas os rebocos encontravam-se destacados do suporte, deteriorados, com sinais de humidade, de degradação, de falta de coesão e perdas de aderência, associadas a fenómenos de fissuração e de criptoflorescências.

5.2.3 – Anomalias em elementos de betão armado

As anomalias visíveis nos elementos de betão armado consistiam, fundamentalmente, em descasques e delaminação do recobrimento, provocados por tensões internas geradas durante o processo expansivo de corrosão, expondo assim as armaduras, **Figura 5.4**.



Figura 5.4 - Descasque de recobrimento em elementos de betão armado (fonte: STB).

Estas anomalias encontravam-se fundamentalmente nos elementos de betão armado constituintes dos vãos do edifício de Alta Pressão, sendo de resolução urgente, devido à falta de estanquidade relativamente à chuva, ameaçando a salvaguarda do equipamento montado no interior.

As **Figuras 5.5 a 5.11** apresentam o mapeamento das anomalias observadas nos edifícios de Baixa Pressão e Alta Pressão antes da intervenção de 2011. Este mapeamento foi elaborado com base em um conjunto de fotografias das diversas fachadas cedido pela Fundação EDP/Museu.

A **Tabela 5.1** apresenta um resumo que sintetiza as anomalias presentes nestes dois edifícios e que foram incluídas no mapeamento apresentado ao longo deste capítulo. Esta matriz representa acima de tudo o grau de predominância da ocorrência das diversas patologias em cada fachada analisada.

Tabela 5.1 – Quadro resumo das diversas anomalias presentes nas fachadas dos edifícios de BP e AP.

Anomalias	Baixa Pressão				Alta Pressão			
	Nascente	Poente	Norte	Sul	Nascente	Poente	Norte	Sul
	Figura 5.5	Figura 5.6	Figura 5.7	Figura 5.8	Figura 5.9	Figura 5.9	Figura 5.10	Figura 5.11
Fendilhação	••	•••	•	•••	•	•••	••	••
Fissuração	•	••	••	••	-	••	••	••
Erosão/desgaste	••	••	•••	•••	••	•	••	•••
Delaminação/descasque	-	•	-	•	-	•	•	•
Manchas negras de poluição/sujidade	•	•	••	•	-	-	•	•
Manchas brancas/ alteração de tonalidade	-	-	•	-	•	-	•	••
Eflorescências/sais nas juntas	•	•	•	•	•	•	•	•
Falta de coesão de argamassa	•	•	-	•	••	•	•	•
Falta de argamassa nas juntas	•	•	-	•	-	•	-	•
Vegetação parasitária	•	-	-	-	-	-	-	-
Colonização biológica	-	•	•	•	-	-	-	-

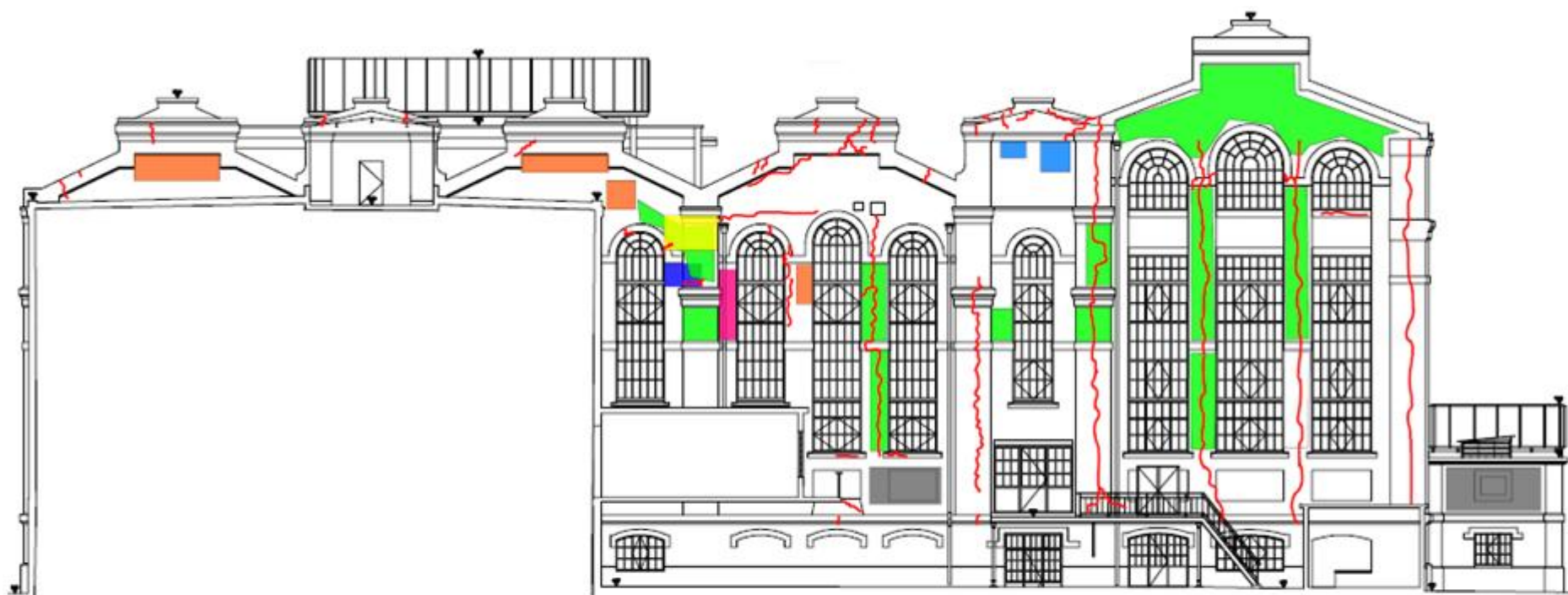
Legenda: (-) Não localizado; (•) Pontual; (••) Frequente; (•••) Generalizado; (Verde) Representado; (Vermelho) Não representado.



Legenda:

- | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|
| - Fendilhação | - Erosão/desgaste | - Manchas negras de poluição/sujidade | - Eflorescências/sais nas juntas | - Falta de coesão da argamassa |
| - Fissuração | - Delaminação/descasque | - Manchas brancas/alteração de tonalidade | - Vegetação parasitária | - Colonização biológica |
| - Falta de argamassa nas juntas | | | | |

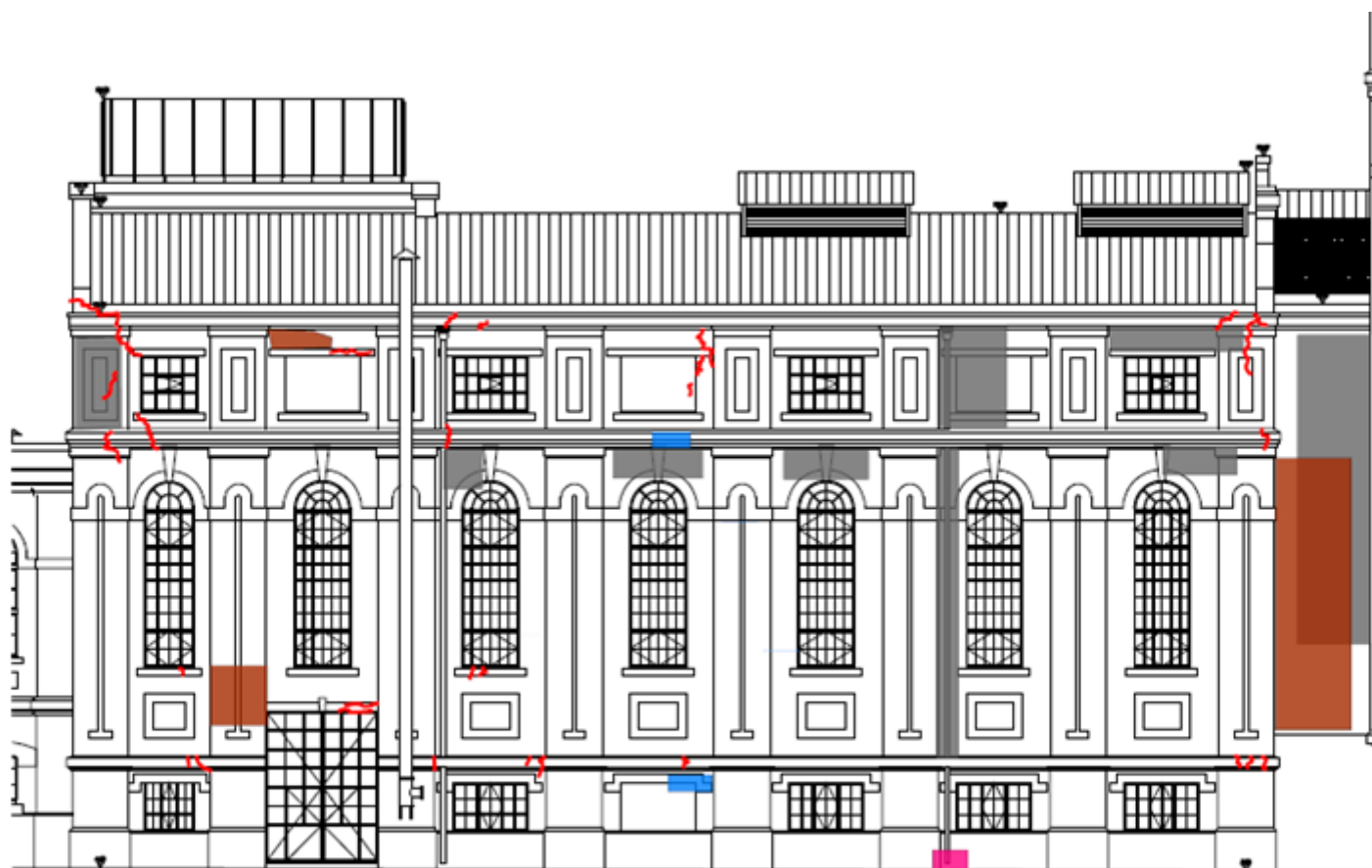
Figura 5.5 – Mapeamento de patologias na fachada Nascente do edifício de BP.



Legenda:

- | | | | | |
|---|---|---|---|--|
|  - Fendilhação |  - Erosão/desgaste |  - Manchas negras de poluição/sujidade |  - Efflorescências/sais nas juntas |  - Falta de coesão da argamassa |
|  - Fissuração |  - Delaminação/descasque |  - Manchas brancas/alteração de tonalidade |  - Vegetação parasitária |  - Colonização biológica |
|  - Falta de argamassa nas juntas | | | | |

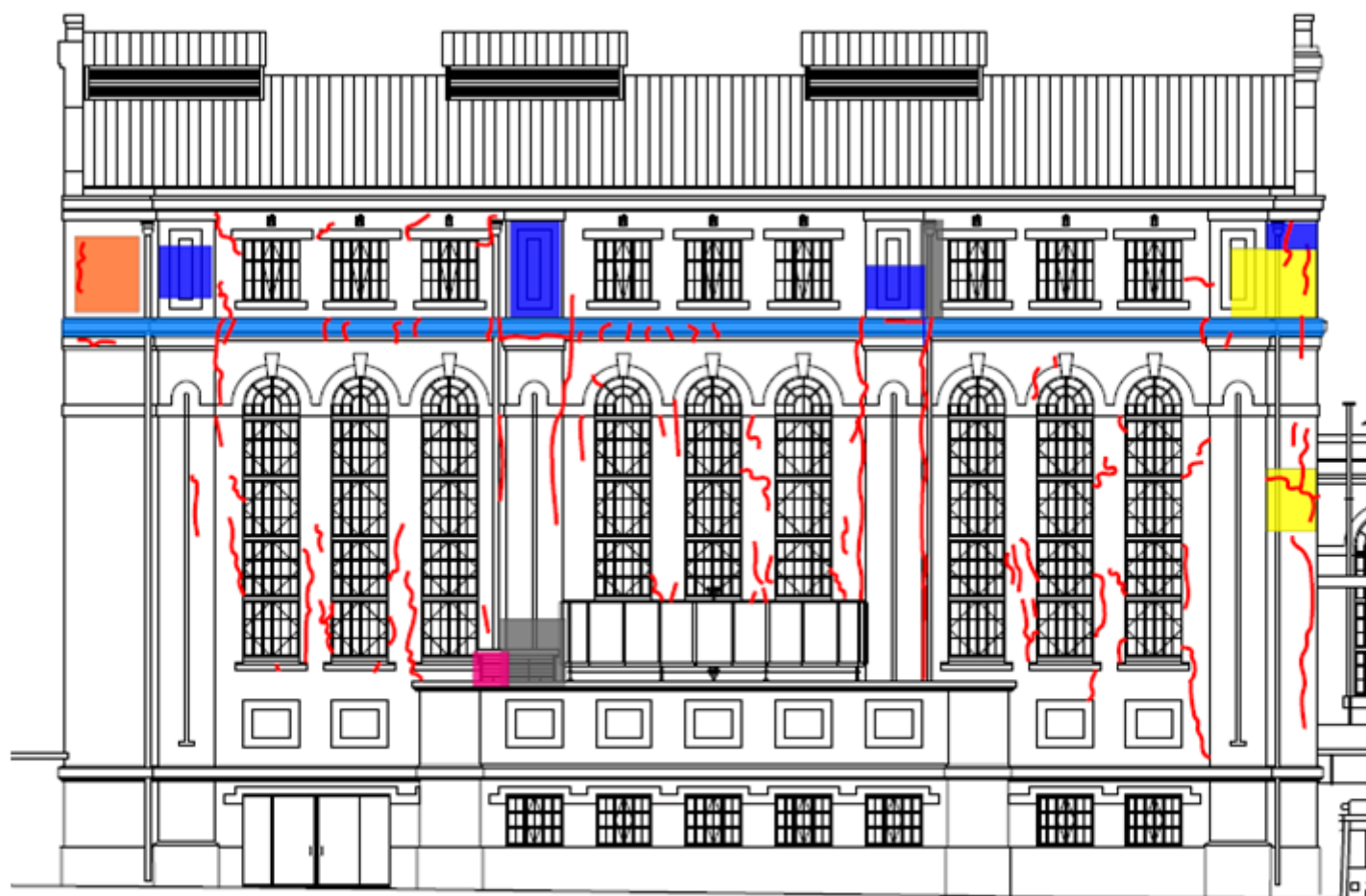
Figura 5.6 – Mapeamento de patologias na fachada Poente do edifício de BP.



Legenda:

- | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---|-------------------------|---|---|---|----------------------------------|---|--------------------------------|
|  | - Fendilhação |  | - Erosão/desgaste |  | - Manchas negras de poluição/sujidade |  | - Eflorescências/sais nas juntas |  | - Falta de coesão da argamassa |
|  | - Fissuração |  | - Delaminação/descasque |  | - Manchas brancas/alteração de tonalidade |  | - Vegetação parasitária |  | - Colonização biológica |
|  | - Falta de argamassa nas juntas | | | | | | | | |

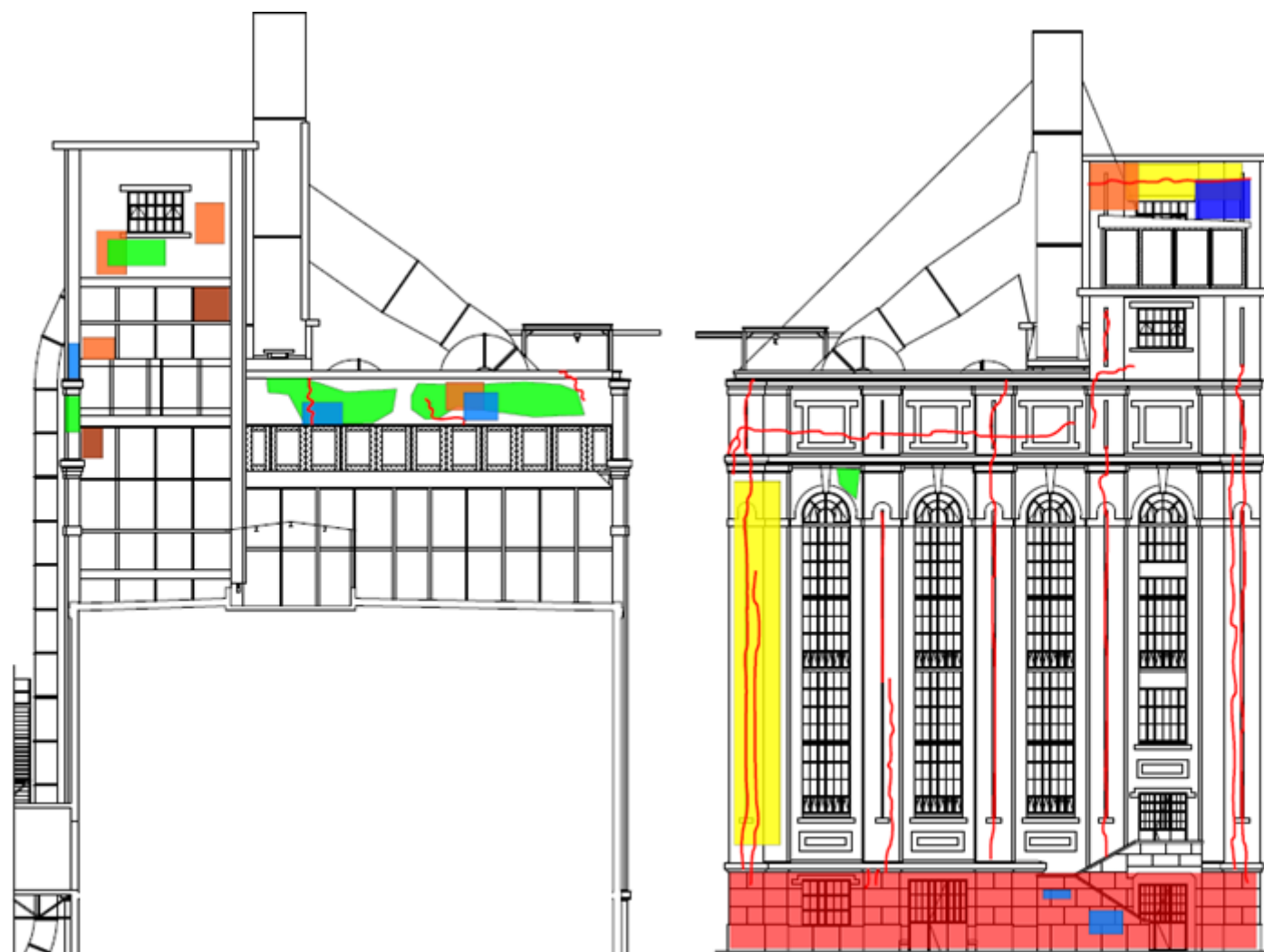
Figura 5.7 – Mapeamento de patologias na fachada Norte do edifício de BP.



Legenda:

- | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---|-------------------------|---|---|---|-----------------------------------|---|--------------------------------|
|  | - Fendilhação |  | - Erosão/desgaste |  | - Manchas negras de poluição/sujidade |  | - Efflorescências/sais nas juntas |  | - Falta de coesão da argamassa |
|  | - Fissuração |  | - Delaminação/descasque |  | - Manchas brancas/alteração de tonalidade |  | - Vegetação parasitária |  | - Colonização biológica |
|  | - Falta de argamassa nas juntas | | | | | | | | |

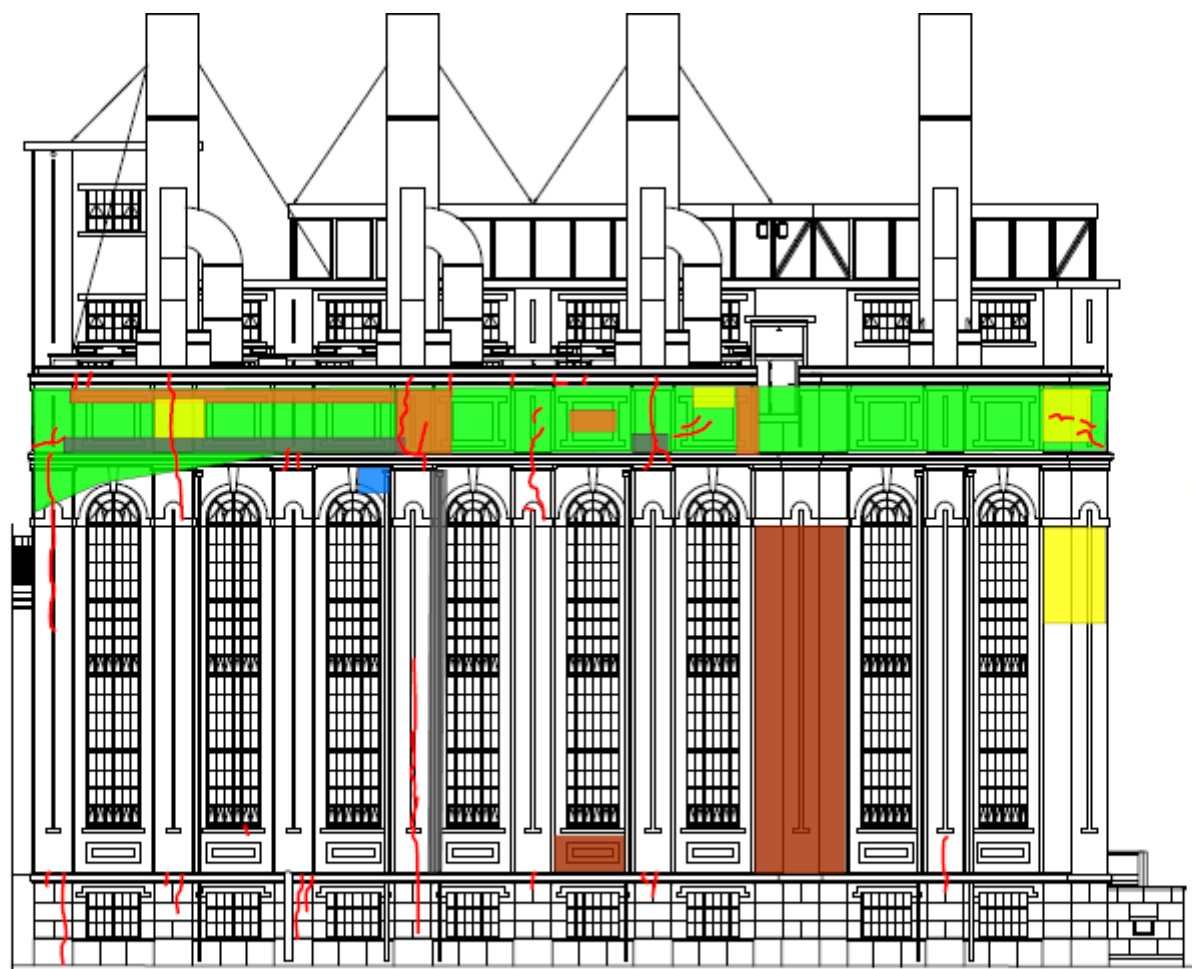
Figura 5.8 – Mapeamento de patologias na fachada Sul do edifício de BP.



Legenda:

- | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|--|-------------------------|--|---|--|-----------------------------------|--|--------------------------------|
| | - Fendilhação | | - Erosão/desgaste | | - Manchas negras de poluição/sujidade | | - Efflorescências/sais nas juntas | | - Falta de coesão da argamassa |
| | - Fissuração | | - Delaminação/descasque | | - Manchas brancas/alteração de tonalidade | | - Vegetação parasitária | | - Colonização biológica |
| | - Falta de argamassa nas juntas | | | | | | | | |

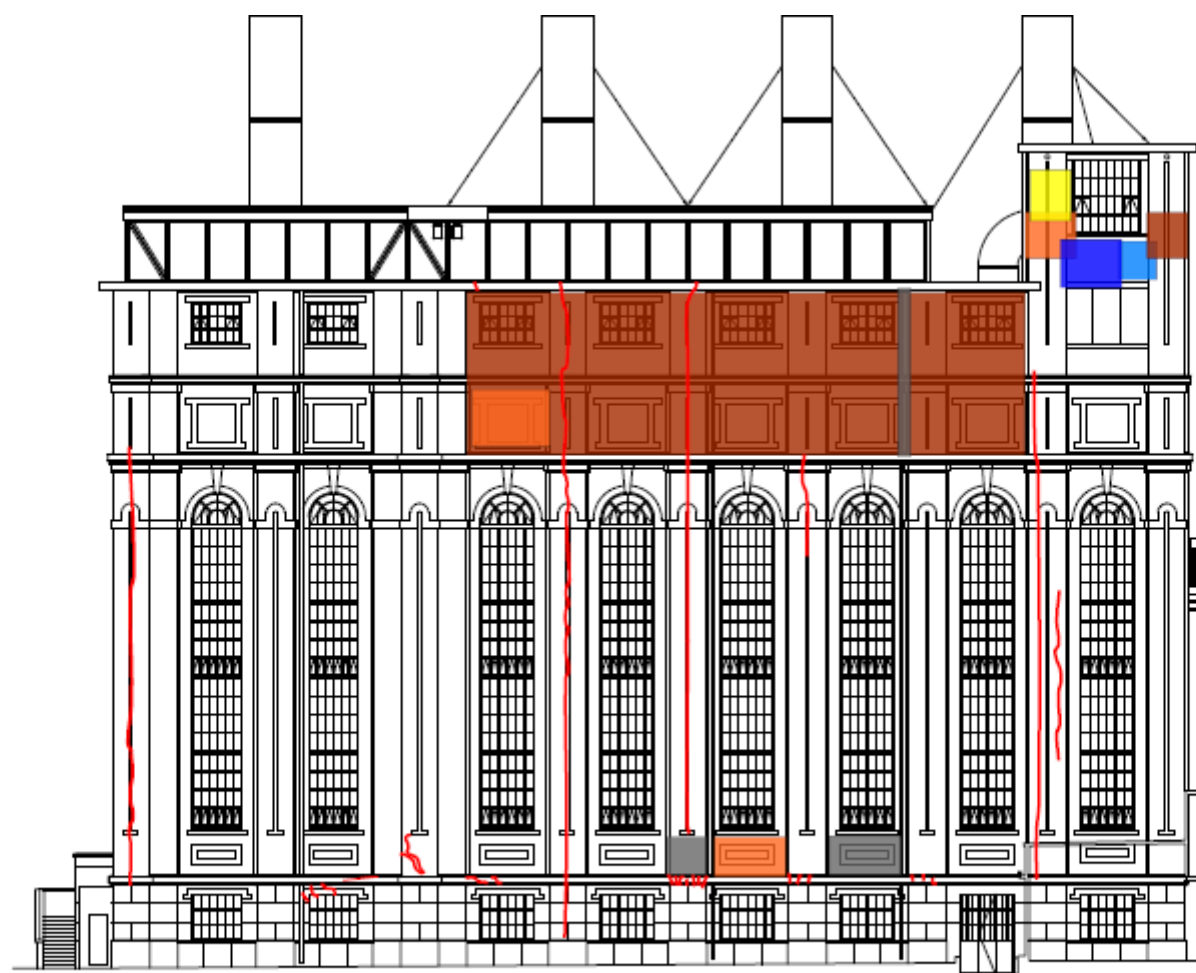
Figura 5.9 – Mapeamento de patologias nas fachadas Nascente (esquerda) e Poente (direita) do edifício de AP.



Legenda:

- | | | | | |
|---|---|---|--|--|
|  - Fendilhação |  - Erosão/desgaste |  - Manchas negras de poluição/sujidade |  - Eflorescências/sais nas juntas |  - Falta de coesão da argamassa |
|  - Fissuração |  - Delaminação/descasque |  - Manchas brancas/alteração de tonalidade |  - Vegetação parasitária |  - Colonização biológica |
|  - Falta de argamassa nas juntas | | | | |

Figura 5.10 – Mapeamento de patologias na fachada Norte do edifício de AP.



Legenda:

- | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|--|-------------------------|--|---|--|----------------------------------|--|--------------------------------|
| | - Fendilhação | | - Erosão/desgaste | | - Manchas negras de poluição/sujidade | | - Eflorescências/sais nas juntas | | - Falta de coesão da argamassa |
| | - Fissuração | | - Delaminação/descasque | | - Manchas brancas/alteração de tonalidade | | - Vegetação parasitária | | - Colonização biológica |
| | - Falta de argamassa nas juntas | | | | | | | | |

Figura 5.11 – Mapeamento de patologias na fachada Norte do edifício de BP.

5.3 – Principais trabalhos realizados

5.3.1 – Considerações gerais

Esta intervenção foi realizada pelo empreiteiro STB, com apoio da *simple.works!*, e sob alçada de fiscalização por parte da EDP.

No seguimento de um acordo entre o dono de obra e o empreiteiro, a selagem de fissuras recorrendo a injeção de calda cimentícia, contida no MQT proposto previamente pelo ISQ, não foi realizada. A solução recaiu na selagem superficial de fissuras com epóxi.

O empreiteiro geral apresentou uma proposta de reforço dos panos de alvenaria, com o recurso a sistemas *HELIFIX*, tendo os mesmos sido adjudicados pela Fundação EDP.

Nos seguintes subcapítulos serão abordados os principais trabalhos realizados no âmbito desta grande intervenção, que são: a consolidação de panos de alvenaria de tijolo, o grampeamento de fissuras, a selagem de fissuras e a substituição integral de panos de alvenaria.

5.3.2 – Consolidação de panos de alvenaria de tijolo

O trabalho de consolidação de panos de alvenaria de tijolo foi realizado a partir do exterior na fachada Sul do edifício da BP, ocupando uma área de trabalho de cerca de metade da área total da mesma (**Figura 5.12**).

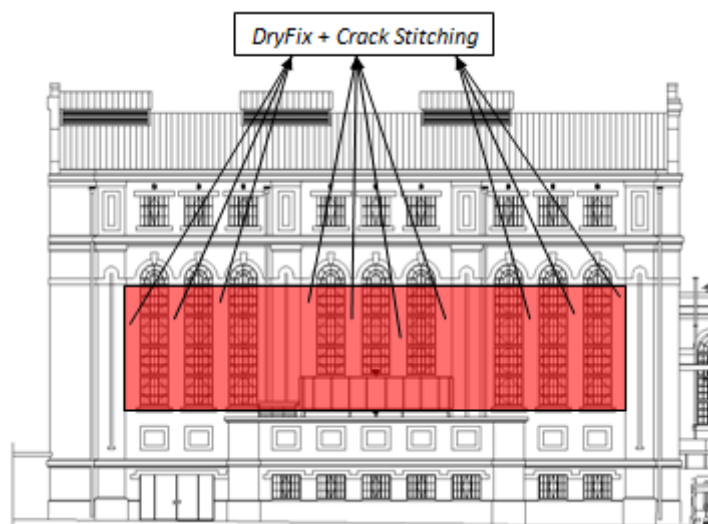


Figura 5.12 – Zona de consolidação dos panos de alvenaria. Fachada Sul da BP.

Nesta fachada, a fissuração existente propagava-se essencialmente na vertical conjugando duas orientações distintas, a do plano da fachada e outra numa direção concorrente para o

interior desse mesmo pano, havendo em muitos casos a formação de cunhas de rotura com o risco de caírem.

Segundo os procedimentos de trabalho da STB (*STB, 2012*), a operação de consolidação realizada consistiu na aplicação de um sistema de pregagens *DryFix*, perpendiculares ao paramento da fachada, e localizadas a meio do tijolo, combinadas com o cozimento de fissuras, paralelamente à posição do pano exterior e realizadas a nível da junta horizontal, com *Crack Stitching*. Estas soluções visaram garantir, de forma provisória, a estabilidade dos panos de alvenaria, de modo a que o tratamento realizado sobre as fissuras fosse efetivo, isto é, impedisse a entrada de água para o interior do edifício.

A **Figura 5.13** mostra, de forma esquemática, um exemplo de aplicação em simultâneo destas duas técnicas.

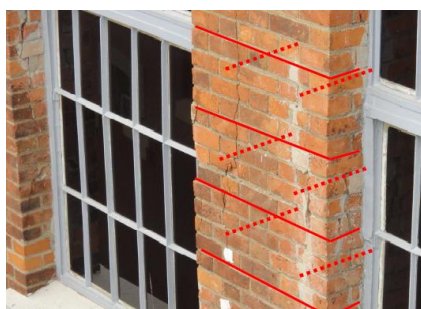


Figura 5.13 – Esquema de aplicação de *DryFix* e *Crack Stitching* (*STB, 2012*).

Esta solução também foi aplicada na fachada Nascente do edifício de BP, mais propriamente na zona representada na **Figura 5.14**. Na zona em causa, encontra-se uma viga que estava em estado avançado de corrosão, a qual causou a expansão dos panos e induziu fraturas nos tijolos adjacentes.

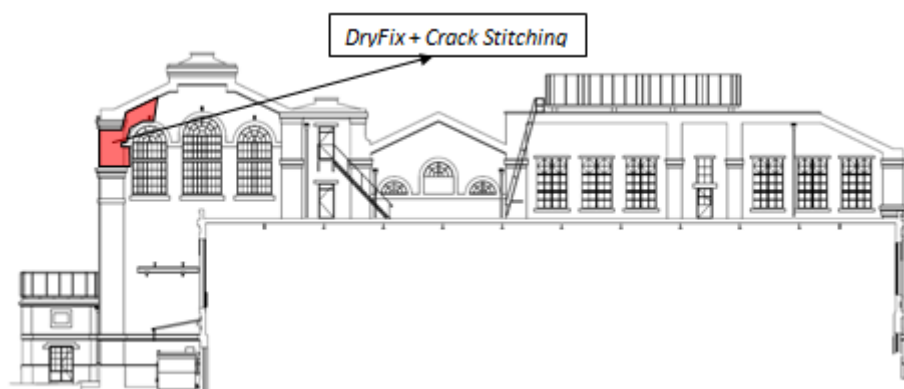


Figura 5.14 – Zona de consolidação dos panos de alvenaria. Fachada Nascente da BP.

Descrição das técnicas e materiais aplicados

i) *DriFix*

Este é um sistema de pregagens fornecido pela empresa *HELIFIX*, e que consiste na aplicação de varões *DryFix* (diâmetro: 8mm; comprimento: 35cm) segundo a direção perpendicular à superfície da parede. A aplicação destes varões é realizada por percussão, com um adaptador específico para berbequim com martelo, após ser realizada uma pré-furação com diâmetro de 6 mm. Finalmente é aplicado à face do tijolo, e de modo a tapar o furo, uma resina epóxi (*CrackBond TE*) precedida da aplicação de pó de tijolo, de modo a manter uma homogeneidade de cor à superfície.

Estas pregagens foram realizadas com um afastamento em altura correspondente a 4 fiadas de tijolo, sendo incorporados varões adicionais nos locais onde se verificou a existência de fissuras que originavam a formação de lacunas, de modo a sustentar qualquer tipo de desprendimento. As **Figuras 5.15** e **5.16** representam um esquema de aplicação desta técnica e uma foto da sua aplicação, respetivamente.

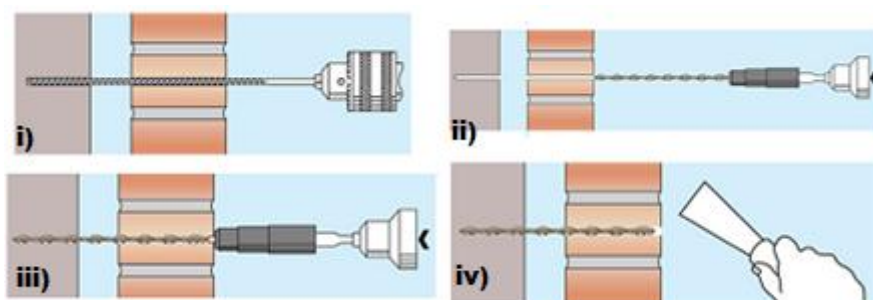


Figura 5.15 - Procedimento na aplicação de *DryFix* (adaptado de [8]).



Figura 5.16 - Pormenor da aplicação de *DryFix* (fonte: STB).

ii) Crack Stitching

Esta técnica consiste na aplicação de várias barras metálicas, *HeliBar* (diâmetro: 6mm; comprimento: 1 ou 1,5 m), no interior da junta de assentamento horizontal de tijolo de alvenaria, de modo a “coser” as fissuras verticais existentes nesses paramentos. A fixação destas barras é realizada recorrendo a uma calda cimentícia (*HeliBond*), precedida da abertura e limpeza destas juntas, **Figura 5.17**. As barras foram colocadas com um espaçamento entre si de 4 fiadas de tijolo.

A **Figura 5.18** representa os principais materiais utilizados durante a aplicação destas técnicas.



Figura 5.17 – Procedimento na aplicação de Crack Stitching [8].



Figura 5.18 – Principais materiais aplicados [8].

5.3.3 – Grampeamento de fissuras

O grampeamento de fissuras foi uma solução adotada em algumas zonas das fachadas de alvenaria de tijolo, dos edifícios da Baixa Pressão e Sala das Máquinas, nas fachadas voltadas

a Nascente e Poente, respetivamente. No edifício de Alta Pressão, o grampeamento de fissuras não foi realizado.

A **Figura 5.19** mostra as zonas da fachada Nascente do edifício de BP, em que esta solução foi adotada.

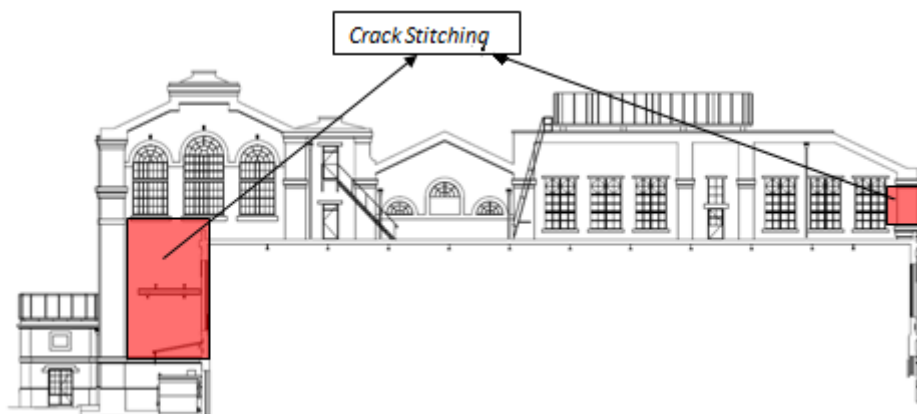


Figura 5.19 – Zona de grampeamento de fissuras. Fachada Nascente da BP.

O incremento da estabilidade local dos panos de alvenaria foi realizada recorrendo à técnica de *Crack Stitching*, com o objetivo de garantir uma melhor distribuição de tensões, isto é, reforçar o comportamento da alvenaria relativamente a forças que produzem esforços de tração, de corte e de compressão (**Hornbostel, 1991**). Na consolidação dos panos de alvenaria, descrita anteriormente, o varão roscado foi dobrado nas suas extremidades, de modo a exercer a amarração e confinamento dos montantes, sendo que no grampeamento de fissuras o varão foi aplicado na horizontal sem qualquer alteração de forma (**Figura 5.20**).



Figura 5.20 – Aplicação da técnica de *Crack Stitching*. Varão dobrado na extremidade (esquerda) e varão normal (direita) (fonte: STB).

Esta solução não garante, *per si*, a interrupção do processo de degradação, contribuindo apenas para minimizar a probabilidade de ocorrência de nova fissuração (**STB, 2012**).

5.3.4 – Selagem de fissuras

A selagem de fissuras foi um trabalho executado em todas as fachadas de alvenaria em que inicialmente estava previsto no MQT a injeção de caldas cimentícias.

Esta solução foi aplicada com o objetivo de reduzir a infiltração de água através dos elementos de fachada fissurados, não garantindo por si só a interrupção do processo de corrosão dos elementos metálicos contidos no interior dos panos, colaborando apenas para a redução da velocidade com que este processo se desenvolve.

A selagem foi efetuada recorrendo a uma resina epóxi, cuja superfície exposta foi sujeita a acabamento com pó de tijolo pincelado, de modo a permitir uma homogeneização cromática superficial da zona reparada do paramento, **Figura 5.21**.



Figura 5.21 – Selagem de fissuras com resina epóxi (fonte: Fundação EDP).

A selagem das juntas resultantes da utilização do sistema *CrackStiching* e de algumas outras fissuras existentes foi efetuada recorrendo a resina epóxi (*CrackBond TE*).

Antes da aplicação da resina, todos os resíduos e partes não aderentes existentes nos bordos da fissura foram removidos. As fissuras com abertura inferior a 1 mm foram previamente alargadas mediante a realização de um corte com a rebarbadora (**STB, 2012**). Após a limpeza da fissura procedeu-se à aplicação da resina de selagem recorrendo a um equipamento de injeção, com o objetivo de garantir que a resina atingia a máxima profundidade possível no interior da fissura. A regularização da superfície da junta foi efetuada manualmente recorrendo a uma pequena espátula.

Com a resina ainda fresca, procedeu-se à aplicação na sua superfície, por pincelagem, de pó de tijolo, com o objetivo de homogeneizar cromaticamente as zonas reparadas com a restante superfície (**Figura 5.21**).

5.3.5 – Substituição integral de panos de alvenaria

Outro trabalho também realizado no decorrer desta intervenção, foi a demolição e reconstrução de dois panos de alvenaria da fachada Poente do edifício de BP, assinalados na **Figura 5.22**. Os tijolos destas zonas apresentavam sinais de degradação muito acentuada.



Figura 5.22 – Localização dos panos de alvenaria reconstruídos na fachada Poente da BP.

As zonas em causa já tinham sido intervencionadas após a sua construção, uma vez que a alvenaria desta zona apresentava características diferentes das zonas adjacentes. Nesta zona a alvenaria não possuía travamento entre o pano interior e o pano exterior, através da disposição dos tijolos colocados na perpendicular, como mencionado anteriormente, bem como registava a presença de microbetão no espaço entre os panos e a presença de travamentos metálicos que permitiam a sua ligação com o pano interior, **Figura 5.23**. De acordo com Bernardo Martins (*Martins, 2012*), o anterior preenchimento do interior da alvenaria com microbetão pode ter sido responsável pela degradação dos tijolos, uma vez que a sua presença funcionava como barreira à passagem do vapor de água, alterando as condições higrométricas da parede, impedindo que a mesma libertasse a humidade presente no seu interior, algo verificado na parede interior que apresentava sinais avançados de degradação e humidade.

A solução adotada para esta zona consistiu na demolição dos panos exteriores da parede, na remoção do microbetão do seu interior, na reconstrução do novo pano de parede exterior de alvenaria de tijolo perfurado e na utilização do sistema de pregagens *DryFix* para travamento dos panos interior e exterior (**Figura 5.24**). Nesta zona, as extremidades dos varões roscados utilizados no sistema de pregagem foram dobrados para o interior da furação dos tijolos

perfurados utilizados na reconstrução. A argamassa de assentamento foi formulada com a incorporação de um hidrofugante, de modo a garantir uma barreira à permeabilidade de água.



Figura 5.23 – Sistema de travamento entre os dois panos de alvenaria (fonte: STB).



Figura 5.24 - Reconstrução do pano de alvenaria (fonte: STB).

De acordo com um critério definido pelo dono de obra, relativamente a infiltrações, alteração de cor, rigidez superficial do elemento ou existência de uma acentuada degradação dos tijolos, além dos trabalhos já mencionados, a empreitada incluiu também a substituição localizada de tijolos em todos os edifícios envolvidos nesta mesma intervenção.

Existiu ainda a preocupação de não efetuar muitas substituições na mesma zona por forma a criar manchas homogêneas de novos tijolos. Desta forma a escolha de tijolos a substituir não foi um processo de escolha fácil e muitas vezes discutível de acordo com o observador.

6 – Análise e caracterização de materiais das fachadas dos edifícios de Baixa e Alta Pressão

6.1 – Introdução

O presente capítulo procede à análise e caracterização de materiais das fachadas dos edifícios de AP e BP, com base no estudo de amostras retiradas da fachada aquando da intervenção de 2011, e dos vários tipos de tijolos de substituição utilizados na referida intervenção. A caracterização de materiais das fachadas incidiu maioritariamente sobre tijolos, embora também tenham sido caracterizadas amostras de argamassa provenientes das fachadas.

Este capítulo procede também à análise da variabilidade de materiais presentes na fachada Poente do edifício de Baixa Pressão, bem como à descrição do plano de ensaios e metodologias utilizadas na caracterização das amostras e dos diversos tipos de tijolo de substituição.

Todas as amostras e os tijolos estudados foram gentilmente facultados pela Fundação EDP/Museu da Eletricidade.

6.2 – Análise da variabilidade dos tijolos constituintes da fachada Poente do edifício de Baixa Pressão

O estudo dos materiais das fachadas incidiu, de forma mais detalhada, na fachada Poente do edifício de BP, por esta ser uma das fachadas mais visível da Central Tejo e pelo facto de ser aquela onde a variabilidade de tijolos presentes é maior.

Por observação visual da fachada foi possível distinguir diferentes zonas, tendo como base as características dos tijolos que as constituem. A **Figura 6.1** localiza as várias zonas da fachada em que foi possível, por apreciação visual, identificar diferenças nos tijolos que a constituem.

Os tijolos aplicados na construção das primeiras três naves (1914 - 1918 e 1924 - 1928) são em geral muito semelhantes. As manchas negras detetadas nesses tijolos provêm, em grande parte, do antigo processo de elevação de carvão para as caldeiras de baixa pressão que se fazia muito próximo a esta zona de parede de alvenaria. É, no entanto, um dos grandes objetivos da Fundação EDP manter estas manchas, de modo a conservar a história destes edifícios.

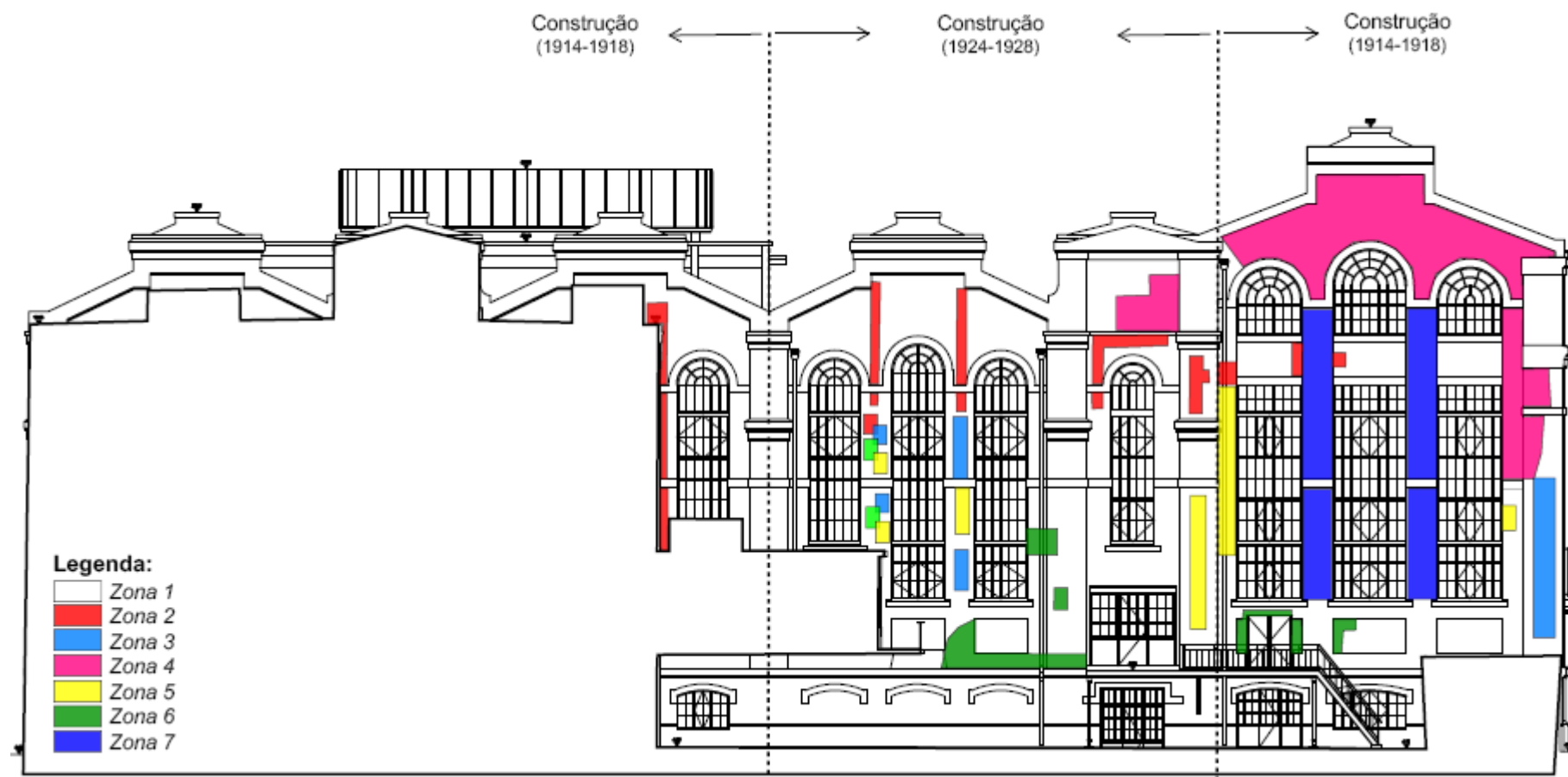


Figura 6.1 – Localização dos diferentes tipos de tijolos presentes na fachada Poente da BP.

As zonas da fachada correspondentes à terceira nave deste edifício já foram alvo de várias intervenções que envolveram a substituição localizada de tijolos, podendo ser visível uma mistura de várias variedades de tijolo, **Figura 6.2**.

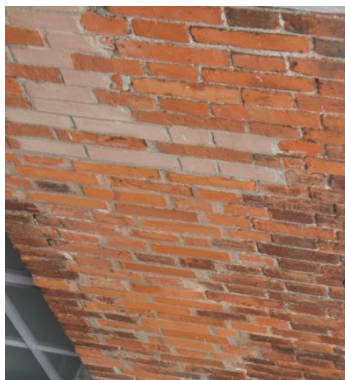


Figura 6.2 - Combinação de diferentes tipos de tijolo.

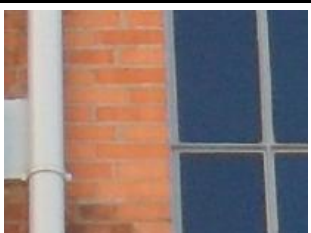
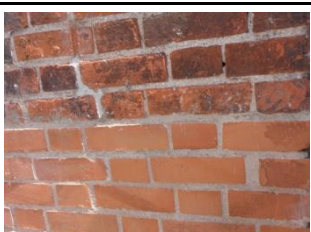
Na intervenção de 2011 foram utilizados três tijolos diferentes de substituição, o tijolo maciço Português e os tijolos perfurados Inglês e Espanhol. As razões que levaram a não selecionar apenas um tipo de tijolo foram, essencialmente, as suas diferentes dimensões e o seu peso. O tijolo Inglês foi fabricado segundo dimensões e tonalidade propostos por responsáveis da Fundação EDP. O tijolo Espanhol só foi aplicado no edifício da AP.

A **Tabela 6.1** procede à descrição dos tijolos de cada uma das zonas assinaladas na **Figura 6.1**, mencionando, de uma forma genérica, as suas principais características bem como o seu estado de conservação.

Tabela 6.1 - Descrição dos tijolos da fachada Poente da BP.

<i>Zona</i>	<i>Descrição</i>	<i>Principais características</i>
Zona 1		Tijolo originalmente colocado. Primeiras duas naves (1914 - 1918). Tijolo com tonalidade escura. Os tijolos apresentam manchas negras de poluição/sujidade. Na 2ª nave, os tijolos apresentam sinais evidentes de degradação e em algumas zonas existe falta de coesão da argamassa nas juntas.
		Tijolo originalmente colocado. Terceira nave construída (1924 - 1928). Os tijolos apresentam, em geral, uma tonalidade mais escura e com manchas negras. Esses tijolos encontram-se, em geral, em bom estado de conservação.

Tabela 6.1 - Descrição dos tijolos da fachada Poente da BP (continuação).

Zona		Descrição	Principais características
Zona 1		Tijolo originalmente colocado. Última nave construída (1928-1932).	Os tijolos apresentam uma tonalidade mais clara que os das restantes naves. São tijolos com boa coesão superficial, encontrando-se, em geral, em bom estado de conservação.
Zona 2		Reintegração de tijolos em falta, ou em avançado estado de degradação, com argamassa (pigmentada ou pintada), de modo a simular o aspeto dos tijolos da zona envolvente.	Embora em bom estado de conservação, esta solução aparenta ser prejudicial para os tijolos adjacentes, uma vez que estes se apresentam muito degradados e já foram alvo de várias intervenções de substituição.
Zona 3		Tijolos de substituição (antes de 2003).	Apresentam uma tonalidade clara. Estes tijolos apresentam, em geral, uma acentuada degradação superficial registando, em alguns casos, a presença de descasques superficiais.
Zona 4		Tijolos de substituição (antes de 2003).	Possuem tonalidade clara. Apresentam sinais de elevada degradação superficial. As juntas são na generalidade muito pouco espessas e existem zonas onde as juntas de assentamento não se encontram corretamente niveladas.
Zona 5		Tijolos aplicados na intervenção de 2003 (empreiteiro Mota-Engil).	Tijolos de tonalidade clara. Estes tijolos encontram-se, na sua grande maioria, em bom estado de conservação, existindo porém zonas localizadas, mais a Sul, onde são visíveis alguns tijolos degradados.
Zona 6		Tijolos aplicados no âmbito da última intervenção. Tijolo Português (2011).	Tijolos com tonalidade mais clara do que os tijolos da zona 1 e 2. Estes tijolos encontram-se em bom estado, sendo possível observar, em algumas zonas localizadas, alguma degradação superficial.
Zona 7		Tijolos aplicados no âmbito da última intervenção. Tijolo Inglês (2011).	Tijolos de cor clara. Estes tijolos encontram-se em bom estado de conservação, embora seja notória, em algumas zonas, a presença de sais à superfície.

6.3 – Métodos de Ensaio

6.3.1 – Considerações gerais

O trabalho experimental foi realizado nos Laboratórios do DECivil do IST, e os procedimentos de ensaio adotados foram baseados em normas existentes para materiais porosos, bem como procedimentos de trabalho já existentes.

A caraterização dos materiais em estudo, face à presença de água, incluiu a determinação da absorção de água sob baixa pressão, da absorção de água por capilaridade, da porosidade acessível à água, do teor em água após 48 horas de imersão, da permeabilidade ao vapor de água e da cinética de secagem.

Além dos ensaios referidos, procedeu-se também à caraterização colorimétrica e à determinação da velocidade de propagação de ultra-sons.

6.3.2 – Caraterização física

Absorção de água sob baixa pressão

Este ensaio baseou-se nos procedimentos descritos na recomendação RILEM Test No. II.4 e no documento de apoio às aulas de laboratório do Grupo de Materiais de Construção do IST (*Nogueira, 2012*), e tem como principal objetivo avaliar a absorção de água sob baixa pressão de materiais porosos.

O procedimento de ensaio consiste em aplicar o tubo de Karsten, também conhecido como “cachimbo” sobre a superfície do material a ensaiar, previamente limpa e isenta de poeiras, com recurso a um material de vedação que é pressionado de forma a manter a estanquidade do bordo. Com auxílio de um esguicho procede-se ao enchimento dos cachimbos até atingir o nível máximo da graduação (4ml). Seguidamente foram efetuadas leituras da quantidade de água absorvida após 15seg, 30seg, 1,5min, 2min, 3min, 4min, 5min, 7min, 10min, 12min, 15min, 30min e finalmente ao fim de 1hora. Procedeu-se ao registo do tempo necessário para a absorção da totalidade da água. A **Figura 6.3** apresenta um ensaio em curso.



Figura 6.3 - Ensaio de absorção de água sob baixa pressão.

Absorção de água por capilaridade

Os procedimentos para a avaliação da absorção de água por capilaridade baseou-se no disposto na EN 1015-18 (*EN1015-18, 2002*).

A absorção de água por capilaridade foi avaliada em amostras de tijolo com forma prismática e em tijolos inteiros.

A preparação dos provetes inclui a marcação, numa das faces laterais dos provetes, de uma linha a cerca de $2\text{mm} \pm 1\text{mm}$ da base, de modo a controlar a altura do provete que permaneceu imersa em água, bem como obter uma referência para a medição da altura de ascensão de franja líquida nos provetes.

Os provetes foram previamente secos em estufa ventilada a $60^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante (m_{seca}). A massa constante foi considerada atingida quando a variação de massa dos provetes foi inferior ou igual a 0,1% da massa total, num intervalo de 24 horas.

Os provetes foram colocados na vertical num tabuleiro, sobre uma malha de borracha, de modo a não ficarem em contacto direto com o fundo do tabuleiro, onde seguidamente e recorrendo a um esguicho introduziu-se água até atingir o nível pretendido ($2\text{mm} \pm 1\text{mm}$).

O tabuleiro foi coberto com uma caixa de plástico, de modo a evitar a evaporação da água, sendo que o nível de água foi sendo reposto de modo a manter sempre o mesmo nível.

A absorção de água foi avaliada ao fim de períodos de tempo pré estabelecidos. A pesagem dos provetes foi realizada após remoção do excesso de água, recorrendo a um pano húmido. Em cada fase de pesagem procedeu-se ao registo da massa (m_i) e da altura da franja capilar (h_i). Os períodos de tempo estabelecidos para avaliação destas grandezas foram: ao fim de 10min, 20min, 30min, 1hora, 1,5hora, 2horas, 3horas, 4horas, 5horas, 24horas e, por fim, de 24 em 24 horas até atingirem massa constante, ou seja, até atingirem a sua saturação capilar.

O posicionamento dos provetes no tabuleiro, no final de cada pesagem, foi efetuado com a base inclinada a 45°, com o objetivo de evitar o aprisionamento de bolhas de ar na superfície de contacto com a água.

A **Figura 6.4** apresenta, por ordem sequencial, as diversas etapas de realização deste ensaio.

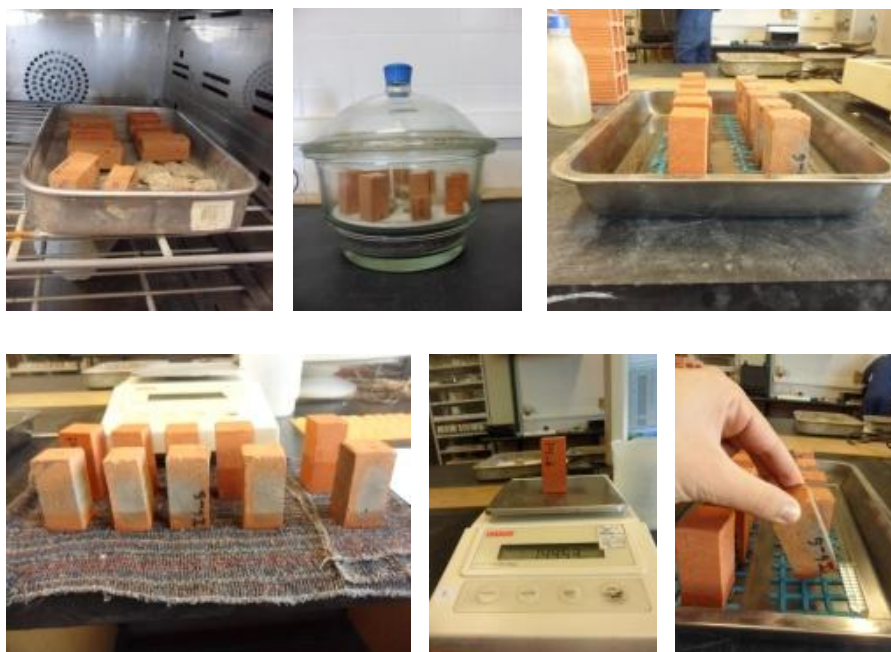


Figura 6.4 – Fases da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Estes dados permitem o traçado de uma curva de absorção de água por unidade de área (M_i) em função da raiz quadrada do tempo, sendo a absorção por unidade de área dada pela seguinte expressão:

$$M_i = \frac{m_i - m_0}{S} = \frac{\Delta M}{S}, \quad (6.1)$$

em que S representa a área da superfície do provete em contacto com a água.

A absorção de água por capilaridade é avaliada através do coeficiente de capilaridade (CC) que representa o declive de reta correspondente ao troço inicial da curva mencionada, e é em geral expresso em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$.

Porosidade acessível à água e massas volúmicas

A determinação da porosidade acessível à água, da massa volúmica aparente e a massa volúmica real baseou-se nos procedimentos descritos em RILEM Test No. I.1.

A realização deste ensaio pressupõe a prévia secagem dos provetes em estufa ventilada a $60^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingirem um valor de massa constante (m_{seca}).

Após determinada a massa seca, os provetes foram colocados no interior de um exsiccador interligado a uma bomba de vácuo, onde a pressão foi gradualmente reduzida, sendo esta pressão mantida durante 24 horas com o objetivo de retirar o ar contido no interior dos poros. Decorrido este período de tempo, manteve-se a bomba de vácuo ligada e abriu-se a torneira adicionando água de forma gradual e lenta, durante um período de 15 minutos, para que o nível de água não ultrapassa-se a altura de ascensão capilar. Feito isto, e deixando passar 24 horas com a torneira fechada, retirou-se a tampa do exsiccador deixando os provetes imersos em água à pressão atmosférica por mais um período de 24 horas. Findo este tempo, procedeu-se a uma pesagem hidrostática determinando a massa do provete imerso (m_{imersa}) e de seguida, após retirado o excesso de água das suas superfícies, realizou-se a medição da massa saturada dos mesmos (m_{saturada}).

As diversas etapas de realização deste ensaio encontram-se ilustradas na figura seguinte.

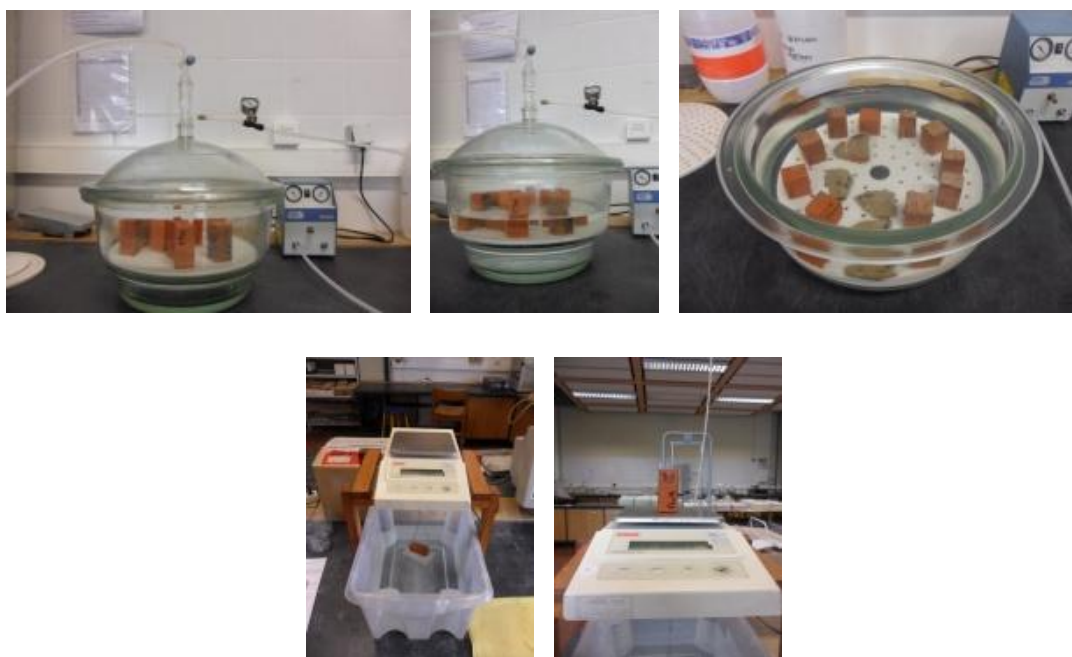


Figura 6.5 – Fases de realização do ensaio de porosidade acessível à água.

O valor da porosidade (P), do teor máximo em água ($W_{\text{máx}}$), bem como os valores das massas volúmicas real e aparente ($M_{\text{vol.real}}$ e $M_{\text{vol.aparente}}$) são determinados a partir das seguintes expressões:

$$P = \frac{m_{saturada} - m_{seca}}{m_{saturada} - m_{imersa}} \times 100 [\%] \quad (6.2)$$

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{m_{saturada} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 [\%] \quad (6.3)$$

$$M_{vol.real} = \frac{m_{seca}}{m_{seca} - m_{imersa}} \times 10^3 [kg/m^3] \quad (6.4)$$

$$M_{vol.aparente} = \frac{m_{seca}}{m_{saturada} - m_{imersa}} \times 10^3 [kg/m^3] \quad (6.5)$$

Teor em água após 48 horas de imersão em água

Este ensaio consiste na determinação do teor em água após 48 horas de imersão em água à pressão atmosférica.

Após os provetes terem sido previamente secos em estufa ventilada a $60^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingirem massa constante, procedeu-se ao registo da sua massa (m_{seca}). Seguidamente, os provetes foram imersos em água com uma ligeira inclinação por forma a não aprisionar bolhas na superfície inferior. Decorridas 48 horas, os provetes foram removidos da água, o excesso de água das suas faces foi retirado e foram pesados, determinando assim a massa saturada (m_{sat48h}) (Figura 6.6).

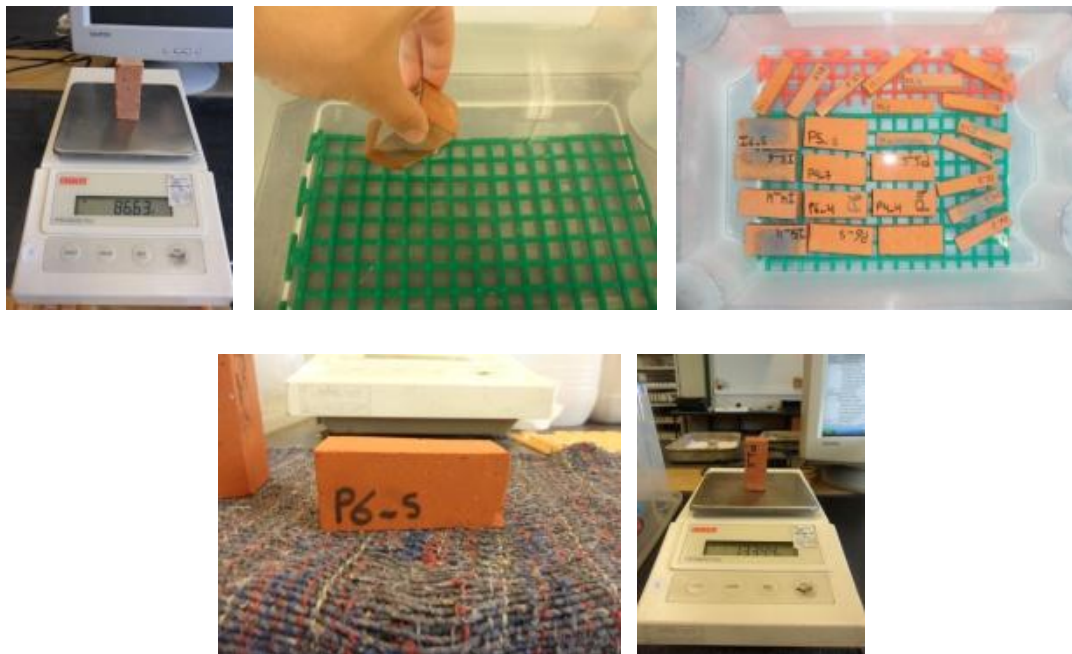


Figura 6.6 - Etapas de realização do ensaio de determinação do teor em água após imersão durante 48 horas.

Para a determinação do teor em água após 48 horas de imersão (W_{48h}), recorre-se à seguinte expressão:

$$W_{48h} = \frac{m_{sat48h} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 [\%] \quad (6.6)$$

A razão entre o teor em água após 48 horas de imersão (W_{48h}) e o teor máximo em água de absorção que a amostra pode conter ($W_{máx}$), designa-se por coeficiente de saturação (CS), e fornece informação relativamente à facilidade de saturação da amostra por imersão (**Ferreira Pinto, 2002**). Este coeficiente de saturação é dado pela seguinte expressão:

$$CS = \frac{W_{48h}}{W_{máx}} \times 100 [\%] \quad (6.7)$$

Permeabilidade ao vapor de água

O procedimento experimental adotado para a determinação da permeabilidade ao vapor de água baseou-se na recomendação RILEM Test No. II.2 e no protocolo adotado por Ferreira Pinto (**Ferreira Pinto, 2002**) no âmbito da sua tese de doutoramento.

Segundo Ferreira Pinto (**Ferreira Pinto, 2002**), a avaliação da permeabilidade ao vapor consiste na quantificação do vapor de água que passa através da espessura do provete quando este se encontra submetido a um gradiente de pressão parcial do vapor de água entre as suas superfícies. Para a criação deste gradiente, os provetes foram posicionados em células de medição individuais que continham no seu interior cloreto de cálcio, por forma a garantir uma humidade relativa de 0%. Estas células foram colocadas numa caixa maior contendo uma solução sobressaturada de cloreto de sódio, permitindo obter uma humidade relativa próxima de 75%.

Os provetes utilizados neste ensaio apresentavam dimensões de 4x4 [cm] e espessuras compreendidas entre 5 e 11 mm. Por forma a garantir um fluxo unidirecional, as faces laterais destes provetes foram previamente impermeabilizadas com recurso à resina epóxi SIKADUR 32 N (**Anexo A**), aplicada em duas demãos intervaladas de 24 horas. Os provetes foram então secos em estufa ventilada a $60^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ até atingirem massa constante.

Montado o ensaio, procedeu-se ao controlo da evolução da massa das células de medição ao longo do tempo, numa balança de elevada precisão (0,1mg), bem como do registo da temperatura e humidade relativa no interior da caixa com a solução salina.

A **Figura 6.7** apresenta, de forma sequencial, as diversas etapas deste ensaio.

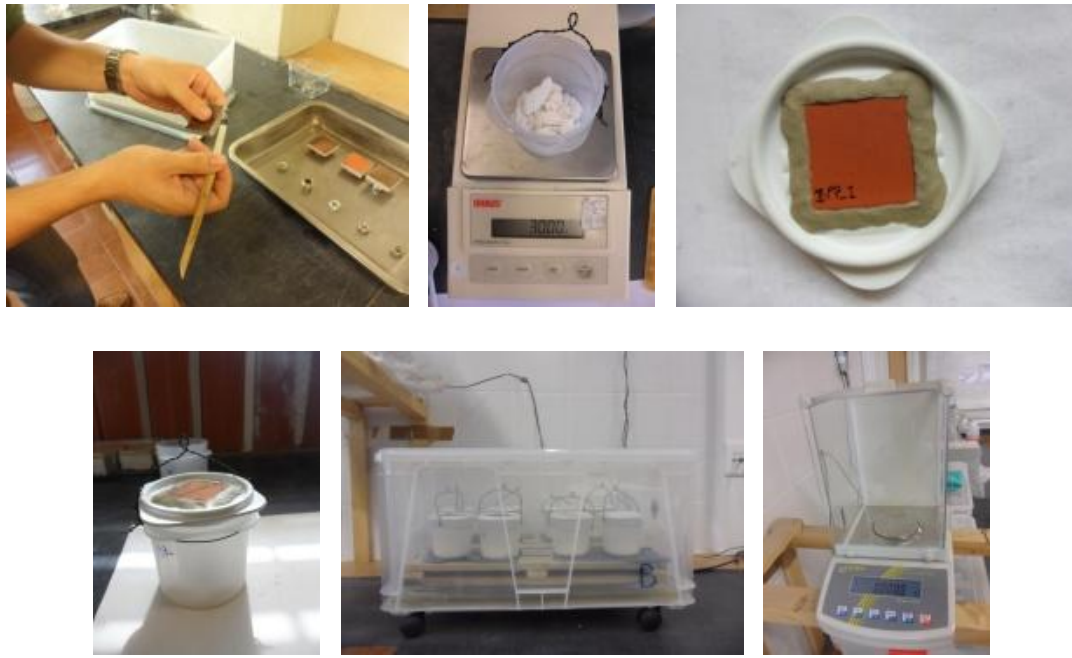


Figura 6.7 - Diversas etapas de realização do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

Com base nos valores de massa avaliados ao longo do tempo, procedeu-se à elaboração de um gráfico (massa vs tempo) que nos permite obter o fluxo de vapor de água (q_d) através do quociente entre o declive de reta e a área do provete, normalmente expresso em $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$. O coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (δ) expresso em $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}]$ é dado então pela seguinte expressão:

$$\delta = \frac{q_d \times e}{\Delta p}, \quad (6.8)$$

em que:

e – espessura do provete [m]

Δp – variação das pressões parciais de vapor de água das atmosferas localizadas em ambos os lados do provete [Pa].

A pressão parcial de vapor de água de uma atmosfera, a uma dada temperatura e humidade relativa, é calculada a partir da expressão $P_{\text{sat}} \cdot \text{Hr}/100$, em que P_{sat} é a pressão de saturação para a temperatura considerada (**Tabela 6.2**), e Hr a humidade relativa (**Ferreira Pinto, 2002**).

Tabela 6.2 - Pressão de saturação em função da temperatura (adaptado de (Paulo, Mahumane, 2011)).

<i>Temperatura [°C]</i>	<i>Pressão de saturação [Pa]</i>
20	2337
21	2486
22	2643
23	2809
24	2983
25	3167
26	3361
27	3565
28	3780
29	4006
30	4243

Cinética de secagem

O procedimento de ensaio utilizado para a avaliação da cinética de secagem baseou-se no disposto na recomendação RILEM Test No. II.5. Este ensaio realizou-se numa sala condicionada para evitar que as condições de temperatura e humidades relativas variassem significativamente durante o procedimento.

Os provetes utilizados apresentavam uma forma aproximadamente cúbica, com dimensões da ordem de 3x3x3 [cm]. As quatro faces laterais dos provetes foram impermeabilizadas com resina epóxi SIKADUR 32 N, aplicada em duas demãos intervaladas de 24 horas, de modo a que o fluxo fosse realizado unidireccionalmente. Após a secagem desta resina, os provetes foram secos em estufa ventilada a $60^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingirem massa constante e registou-se essa massa (m_{seca}). Seguidamente, os provetes foram imersos em água durante 48 horas (m_{sat48h}).

Em seguida, procedeu-se então ao isolamento de uma das faces não impermeabilizadas, com o intuito de garantir que a secagem se realizasse apenas num sentido. Por fim, avaliou-se a evolução da massa dos provetes até à sua estabilização, efetuando uma medição de massa diária.

A **Figura 6.8** apresenta algumas das principais etapas da realização deste mesmo ensaio.



Figura 6.8 - Diversas etapas de realização do ensaio de secagem.

O cálculo do índice de secagem (**IS**) define-se como sendo o quociente do integral da curva de secagem, que consiste na evolução do teor em água (**W_i**), expresso em percentagem, em função do tempo (**t_i**), pelo produto do teor de água inicial e o tempo em que decorreu o ensaio (**t_f**), que é dado pela seguinte expressão:

$$IS = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f(W_i) \times dt}{W_0 \times t_f} \quad (6.9)$$

Este tempo final de ensaio (**t_f**) é normalmente caracterizado pelo aparecimento de uma assintota horizontal no gráfico da secagem (**Bourguignon, 2000**).

A cinética de secagem foi avaliada recorrendo a provetes com as dimensões já referidas e em tijolos inteiros. Neste caso, a impermeabilização das faces laterais dos tijolos foi realizada com fita adesiva, **Figura 6.9**.



Figura 6.9 - Impermeabilização das faces laterais dos tijolos inteiros.

6.3.3 – Caracterização colorimétrica

O procedimento do ensaio, bem como a sua perfeita compreensão, teve como base o procedimento adotado por Ferreira Pinto no seu trabalho de investigação (**Ferreira Pinto, 2002**).

A quantificação colorimétrica foi efetuada recorrendo a um espectocolorímetro e avaliada segundo um conjunto de coordenadas cromáticas do sistema CIELAB, **L^{*}**, **a^{*}** e **b^{*}**. Neste sistema, e tendo por base a visualização da **Figura 6.10**, um estímulo de cor é representado num espaço tridimensional, em que a coordenada **L^{*}** mede a luminosidade.

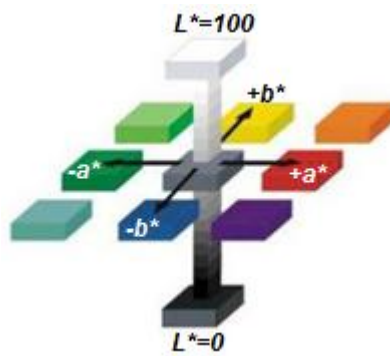


Figura 6.10 - Representação das coordenadas do sistema CIELAB.

Por sua vez, o plano perpendicular a L^* é onde se apresentam as coordenadas a^* (direção verde-vermelho) e b^* (direção azul-amarelo) e que permitem a determinação dos valores do croma C^* , que avaliam a saturação da cor, calculados através da seguinte expressão:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6.10)$$

6.3.4 – Velocidade de propagação de ultra-sons

A determinação da velocidade de propagação de ultra-sons baseou-se nos procedimentos descritos no documento de apoio às aulas de laboratório do Grupo de Materiais de Construção do IST (*Ferreira Pinto, Gomes, 2009*).

O equipamento utilizado neste ensaio emite ultra-sons e quantifica o tempo, em μs , que estas ondas demoram a percorrer a distância compreendida entre o transdutor emissor e o recetor. A velocidade foi avaliada recorrendo à metodologia de transmissão indireta, onde o transdutor emissor permaneceu fixo, fazendo variar apenas o transdutor recetor com distâncias de 60, 75, 90, 105 e 120 mm, **Figura 6.11**.



Figura 6.11 - Ensaio de determinação de ultra-sons. Calibração (esquerda) e realização do ensaio (direita).

O cálculo da velocidade de propagação de ultra-sons é obtido através do declive da reta obtida quando se representa a distância como ordenada e o tempo de propagação da onda como abcissa. Esta velocidade é maior em meios sólidos contínuos, do que em meios gasosos (Ferreira Pinto, Gomes, 2009).

6.4 – Caracterização de amostras das fachadas

6.4.1 – Enquadramento

As Tabelas 6.3 e 6.4 identificam e procedem à breve descrição do conjunto de amostras facultadas pela Direção do Museu da Eletricidade. Estas amostras foram obtidas durante a última intervenção (2011) realizada.

Tabela 6.3 - Identificação e descrição das amostras de argamassa das fachadas dos edifícios da Central Tejo.

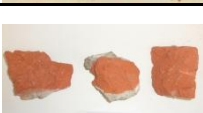
Edifício	Fachada	Número de amostras	Designação da amostra	Dimensões [cm]	Observações	Fotografia da amostra
Baixa Pressão	Poente	3	Arg_I	6,0 x 4,7 x 1,5	Os fragmentos de argamassa apresentam vestígios de ferrugem (proveniente dos perfis).	
			Arg_II			
			Arg_III	6,0 x 4,3 x 1,5		
Alta Pressão	Norte	1	Arg_IV	6,4 x 6,0 x 2,0	Conseguida após corte da amostra AP.N_1, presente na Tabela 6.4. Apresenta vestígios de tijolo.	

Tabela 6.4 – Identificação e descrição das amostras de tijolos das fachadas dos edifícios da Central Tejo.

Edifício	Fachada	Número de amostras	Designação da amostra	Tonalidade	Dimensões [cm]	Observações		Fotografia da amostra	
Subestação	Poente (terraço)	3 ⁽¹⁾	TS.P_1	Média	6,5 x 3,5 x 5,5	Presença de alguns minerais brancos (grandes).			
	Nascente	3 ⁽¹⁾ (com 5 fragmentos)	S.N_1	Média	8,0 x 3,0 x 7,5	Presença de muitos minerais brancos (pequenos a médios). Apresenta juntas de argamassa (~1cm). Fissuras no interior.			
Escritórios	Sul	3 ⁽¹⁾	ES.S_1	Média	23,0 x 11,5 x 7,0	Presença de alguns minerais brancos (pequenos). Com delaminação.			
Alta Pressão	Norte	1	AP.N_1	Média	13,5 x 4,5 x 5,5	Presença de alguns minerais brancos (pequenos). Apresenta argamassa num dos cantos (~2cm).			
	Poente	4	AP.P_1	Clara	11,0 x 6,5 x 11,5	Contem vestígios de argamassa.		Aparentam ser dos mesmos tijolos. Presença de alguns minerais brancos (pequenos a médios).	
			AP.P_2	Clara	13,0 x 6,5 x 10,5	Contem vestígios de argamassa. Apresenta minerais/grãos de tom acastanhado.	Pior estado de conservação.		
			AP.P_3	Clara	13,0 x 6,0 x 11,0	Apresenta minerais/grãos de tom acastanhado.			
			AP.P_4	Média	21,0 x 6,5 x 11,0	Presença de alguns minerais brancos (pequenos a médios). Apresenta minerais/grãos negros.			
Baixa Pressão	Sul	1	BP.S_1	Média	22,0 x 4,0 x 7,0	Presença de alguns minerais brancos (pequenos). A base apresenta-se cortada com rebarbadora.			

⁽¹⁾Para efeitos de caracterização selecionou-se apenas uma amostra representativa.

Tabela 6.4 – Identificação e descrição das amostras de tijolos das fachadas dos edifícios da Central Tejo (continuação).

Edifício	Fachada	Número de amostras	Designação da amostra	Tonalidade	Dimensões [cm]	Observações		Fotografia da amostra
Baixa Pressão	Poente	6	BP.P_1	Média	23,0 x 7,0 x 7,0	Presença de manchas negras na face exposta.	Amostras com aspeto compacto, coeso e não demonstram sinais de degradação significativa. Presença de alguns minerais brancos (pequenos).	
			BP.P_2	Escura	16,5 x 7,0 x 9,0	Sais na face exposta.		
			BP.P_3	Escura	16,5 x 7,0 x 8,5	Com manchas negras de poluição/sujidade na face exposta.		
			BP.P_4	Escura	8,0 x 5,0 x 2,0	Fragmentos com aspeto similar. Presença de muitos minerais brancos (pequenos). Apresentam vestígios de junta de argamassa.		
			BP.P_5					
			BP.P_6					

⁽¹⁾Para efeitos de caracterização selecionou-se apenas uma amostra representativa.

Atendendo a que o presente estudo procurou analisar as intervenções e as características dos materiais e soluções envolvidos nas intervenções realizadas nos edifícios da AP e BP, o estudo dos materiais das fachadas focou-se na análise das amostras facultadas provenientes destes dois edifícios (*AP.N*; *AP.P*; *BP.S* e *BP.P*).

Todas as amostras com dimensão adequada foram objeto de caracterização colorimétrica. Esta caracterização precedeu a qualquer outra caracterização realizada e incidiu apenas em amostras de tijolos, dado que as amostras de argamassa não possuíam forma e dimensões adequadas à sua realização.

Apenas foram caracterizadas quatro amostras de argamassa, três delas provenientes da fachada Sul do edifício da BP (*Arg_I*, *Arg_II* e *Arg_III*) e uma proveniente da fachada Norte do edifício da AP (*Arg_IV*). Estas amostras apresentavam uma tonalidade acinzentada, sem se notar qualquer nódulo branco que pudesse evidenciar a presença de cal aérea.

A caracterização mineralógica efetuada pelo LNEC (*LNEC, 2001*), a uma outra amostra de argamassa, proveniente de um dos muros exteriores da CT, apresentava também uma boa resistência e dureza superficial, o que pressupõe tratar-se de uma argamassa formulada com ligante hidráulico (Cimento Portland e/ou Cal Hidráulica) (*Gomes et al., 2009*).

Importa também referir que estas amostras por se encontrarem em contato com outros materiais, nomeadamente os perfis metálicos da estrutura do edifício e os tijolos, apresentam vestígios dos mesmos numa das suas faces (**Figura 6.12**). Ora a presença destes outros materiais foi desprezada para efeitos de caracterização, uma vez que a sua quantidade era de cerca de 5% da constituição total da amostra.



Figura 6.12 - Presença de ferrugem na amostra de argamassa proveniente da corrosão dos perfis metálicos.

As amostras de argamassa foram objeto de determinação da massa volúmica real e aparente, da porosidade acessível à água, do teor máximo em água e do teor em água após 48h de imersão em água.

É importante a realização deste tipo de ensaios, uma vez que a água é uma enorme causa de degradação para as argamassas antigas. Segundo alguns autores, a água é responsável, por exemplo, pelo enfraquecimento das argamassas devido à dissolução de alguns dos seus constituintes, à dissolução de sais e do seu transporte através da argamassa, e é ainda responsável pela fixação e desenvolvimento de colonização biológica nestes elementos, entre outros (Veiga, Magalhães et. al, 2004).

A caracterização das amostras de tijolos levou à necessidade de proceder ao planeamento do seu corte, para permitir a realização de uma caracterização mais abrangente do que a levada a cabo nos pequenos fragmentos que constituíam as amostras de argamassa.

Os cortes das amostras foram estabelecidos com o objetivo de não comprometer futuras caracterizações das amostras que a Fundação EDP possa vir a desenvolver. Estes cortes foram efetuados após prévio planeamento e autorização do Museu da Eletricidade. Muito embora não estivesse previsto a realização de ensaios destrutivos, o recurso à “água”, para a realização dos ensaios físicos, poderia inviabilizar a futura realização de algum outro tipo de caracterização. Deste modo, garantiu-se que apenas se iria estudar uma amostra de cada fachada, sendo em alguns casos apenas utilizado parte do material que constituía a amostra. A **Figura 6.13** apresenta as amostras selecionadas e os cortes realizados.

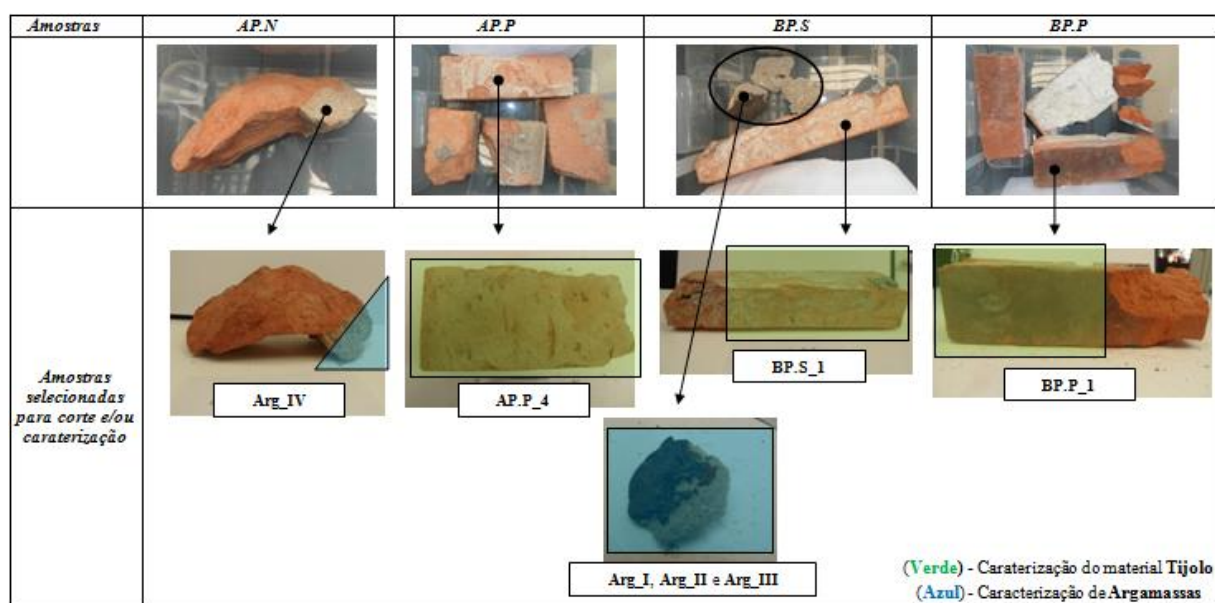


Figura 6.13 - Amostras selecionadas para corte.

A **Figura 6.14** identifica o tipo de provetes obtido de cada amostra, bem como a caracterização efetuada.

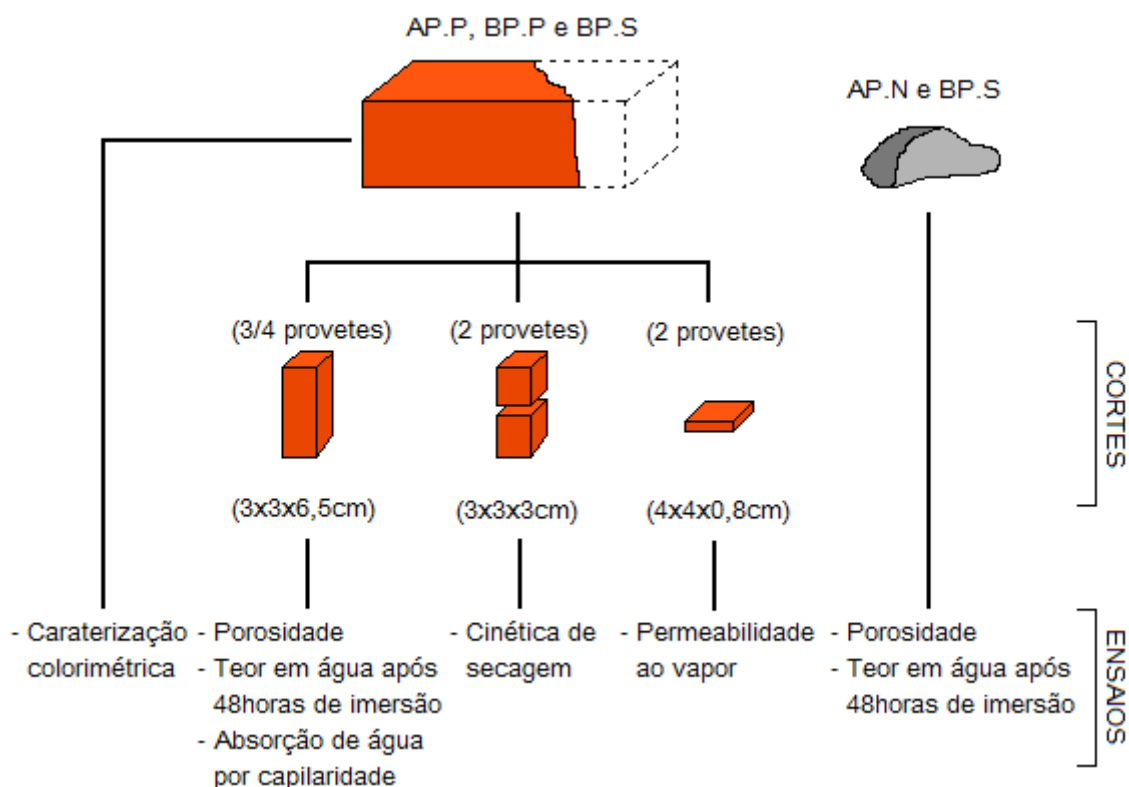


Figura 6.14 - Plano de ensaios a realizar nas amostras pré-existentes.

6.4.3 – Argamassas

A **Tabela 6.5** apresenta os valores de massa seca, porosidade, massa volúmica, teor em água e coeficiente de saturação das amostras de argamassa estudadas.

Tabela 6.5 – Amostras de argamassa - Porosidade, massa volúmica, teor em água e coeficiente de saturação.

Argamassa		Massa seca da amostra [g]	Porosidade P [%]	Massa volúmica		Teor em água		Coef. Saturação CS [%]
				Real	Aparente	máximo	às 48 horas	
				$M_{vol,real}$ [kg/m ³]	$M_{vol,aparente}$ [kg/m ³]	$W_{máx}$ [%]	W_{48h} [%]	
Baixa Pressão Sul	Arg_I	32,6	24,4	2590	1960	12,5	7,7	62
	Arg_II	31,2	25,3	2600	1940	13,1	7,6	58
	Arg_III	31,5	23,4	2670	2050	11,4	7,0	61
Alta Pressão Norte	Arg_IV	65,3	26,9	2600	1900	14,1	8,5	60

As características das amostras de argamassa estudadas apontam para que não existam diferenças significativas entre elas, em termos de massa volúmica real. Todas elas apresentam

valores de massa volúmica real da ordem de 2600 kg/m^3 , com exceção da *Arg_III* que revelou um valor ligeiramente superior (2670 kg/m^3).

Os valores de porosidade das amostras de argamassa encontram-se compreendidos entre 23% e 27%, sendo de referir que a argamassa mais porosa é proveniente da fachada Norte do edifício de AP. A argamassa da fachada Norte do edifício de AP apresentou não só o maior valor de porosidade, como foi a que manifestou maior capacidade de absorção de água, como é possível observar pela análise dos valores de teor máximo em água e após 48 horas de imersão.

Em termos de facilidade de saturação, a análise dos valores do coeficiente de saturação aponta para que todas as argamassas revelem comportamentos semelhantes, dado que os valores variaram entre 58% e 62%.

6.4.4 – Tijolos

A caracterização de tijolos constituintes das fachadas dos edifícios em estudo incidiu sobre amostras recolhidas das fachadas Sul e Poente do edifício de Baixa Pressão e das fachadas Norte e Poente do edifício de Alta Pressão. O estudo dos tijolos das fachadas consistiu na sua caracterização física e colorimétrica.

A caracterização física inclui a determinação da massa volúmica real e aparente, da porosidade, do teor em água após 48h de imersão, do teor máximo em água, da absorção de água da capilaridade, da cinética de secagem e da permeabilidade ao vapor de água. Esta caracterização foi realizada em provetes obtidos por cortes das amostras provenientes das fachadas Sul e Poente do edifício de Baixa Pressão (*BP.S* e *BP.P*) e da fachada Poente do edifício de Alta Pressão (*AP.P*).

A determinação da porosidade acessível à água, das massas volúmicas, dos teores em água ($W_{\text{máx}}$ e W_{48h}), do coeficiente de saturação e da absorção de água por capilaridade foram avaliados em provetes prismáticos com $3 \times 3 \times 6,5 \text{ [cm]}$.

A **Figura 6.15** apresenta provetes provenientes da *AP.P*, *BP.P* e *BP.S*. A análise desta figura permite verificar que *AP.P* e *BP.S* possuem coloração semelhante, muito embora sejam perceptíveis diferenças na sua constituição. O provete *AP.P* apresenta maior incidência de grãos acastanhados, enquanto em *BP.S* predomina a presença de grãos esbranquiçados. O *BP.P* distingue-se dos restantes, tanto pela sua tonalidade mais escura, como pelo facto de ser visível, a olho nu, a presença de vazios de maiores dimensões.

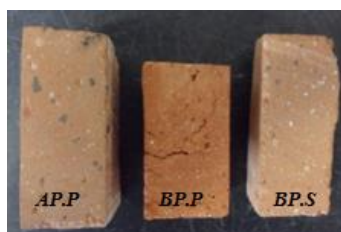


Figura 6.15 – Provetes prismáticos dos diferentes tipos de tijolo pré-existentes ensaiados.

A **Tabela 6.6** apresenta os valores de massa volúmica, porosidade, teor em água (máximo e após 48h de imersão) e do coeficiente de saturação dos tijolos das fachadas dos edifícios estudados.

Tabela 6.6 - Amostras de tijolo - Massa volúmica, porosidade, teor em água e coeficiente de saturação.

Provete	Massa volúmica		Porosidade	Teor em água		Coef. Saturação
	Real	Aparente		máximo	às 48 horas	
	$M_{vol,real} [kg/m^3]$	$M_{vol,aparente} [kg/m^3]$		$W_{máx} [\%]$	$W_{48h} [\%]$	
AP.P_4.5	2670	1950	26,8	13,7	12,2	89
AP.P_4.6	2670	1960	26,7	13,7	12,2	89
AP.P_4.7	2660	1960	26,3	13,4	11,8	88
AP.P_4.8	2670	1960	26,6	13,6	12,2	90
BP.P_1.5	2670	1890	29,4	15,6	13,0	83
BP.P_1.6	2680	1890	29,3	15,5	13,1	85
BP.P_1.7	2670	1890	29,2	15,4	12,8	83
BP.S_1.5	2660	1960	26,3	13,4	12,0	90
BP.S_1.6	2660	1960	26,2	13,4	12,0	90
BP.S_1.7	2670	1960	26,4	13,5	12,1	90

Os tijolos das três fachadas apresentam valores de massa volúmica real semelhantes, compreendidas entre 2660 Kg/m^3 e 2700 Kg/m^3 .

As amostras de tijolo provenientes das fachadas Sul e Poente, respetivamente dos edifícios de BP e AP, revelaram-se semelhantes em termos de porosidade, teores em água e coeficiente de saturação.

A amostra da fachada Poente do edifício de BP foi a que se revelou mais porosa, com valor de porosidade da ordem de 29% e com maior capacidade de absorção de água ($W_{48h}=13,0\%$; $W_{máx}=15,5\%$). Importa referir o facto de ser a parede do edifício de BP que no interior do edifício apresenta sinais de maior degradação e presença de humidade.

Os valores de porosidade e de teor máximo em água dos tijolos estudados encontram-se dentro dos valores obtidos por Fernandes e Lourenço (**Fernandes, Lourenço, 2007**), no

estudo de caracterização de tijolos constituintes de diversos monumentos portugueses que efetuaram.

A variabilidade da porosidade e do teor máximo em água dos tijolos estudados por Fernandes e Lourenço encontrava-se compreendida, respetivamente entre 26% a 33% e 15% a 22%. Jastrzebski afirma também que os materiais cerâmicos, nomeadamente os tijolos cerâmicos, apresentam valores de porosidade muito variáveis devido à elevada heterogeneidade que apresentam (*Jastrzebski, 1987*), que resulta da diversidade de características da matéria-prima, processo de produção e processamento térmico.

O fenómeno de absorção de água por capilaridade assume uma elevada importância no estudo dos materiais porosos. A **Figura 6.16** apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade, em função da raiz do tempo, e a **Tabela 6.7**, por sua vez, apresenta os respetivos coeficientes de absorção de água por capilaridade e valores assintóticos (VA). Os registos da evolução da massa e das alturas da franja capilar são apresentados no **Anexo B**.

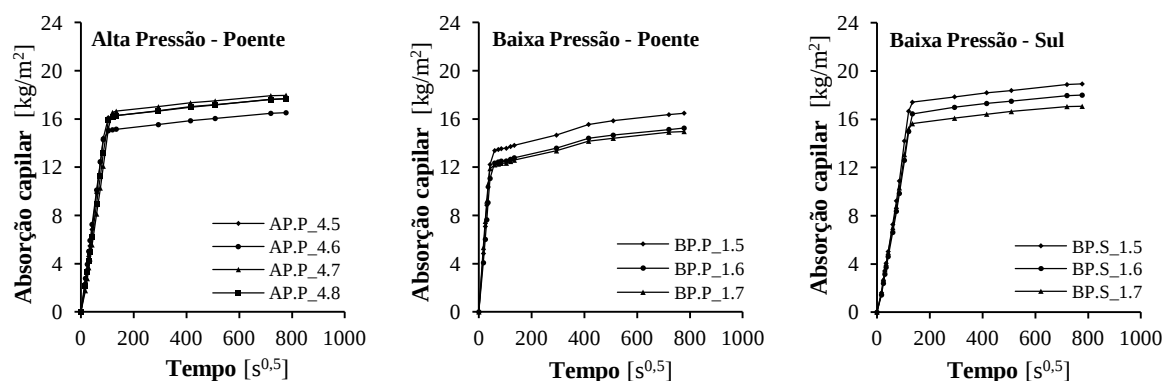


Figura 6.16 - Curvas de absorção de água por capilaridade em função da raiz do tempo.

Tabela 6.7 - Coeficientes de capilaridade nas amostras pré-existentes.

Provete	Área dos provetes em contato com água [cm ²]	CC [kg/(m ² .s ^{0,5})]	CC Valor médio	VA [kg/m ²]	VA Valor médio
AP.P_4.5	9,3	0,162	0,155	17,7	17,5
AP.P_4.6	9,6	0,169		16,5	
AP.P_4.7	8,4	0,139		18,0	
AP.P_4.8	9,0	0,152		17,7	
BP.P_1.5	9,0	0,291	0,281	16,5	15,6
BP.P_1.6	8,0	0,256		15,2	
BP.P_1.7	9,6	0,297		15,0	
BP.S_1.5	5,9	0,131	0,124	18,9	18,0
BP.S_1.6	5,9	0,119		18,0	
BP.S_1.7	6,0	0,123		17,1	

A semelhança de valores de porosidade, de capacidade de absorção de água revelada pelos valores de teor em água e dos coeficientes de saturação, dos tijolos das fachadas Sul e Poente, respetivamente dos edifícios de BP e AP, refletiram-se nas cinéticas de absorção de água por capilaridade. De facto, as curvas de absorção de água por capilaridade, **Figura 6.16**, e os valores dos coeficientes de absorção de água por capilaridade e valores assintóticos, **Tabela 6.7**, evidenciam essa semelhança das características de absorção dos tijolos provenientes das fachadas referidas.

Os tijolos da fachada Poente do edifício de BP revelaram-se mais porosos e manifestaram maior velocidade de absorção de água por capilaridade do que os restantes, como é possível observar na **Figura 6.16**. Muito embora os tijolos da fachada Poente do edifício da BP tenham-se revelado mais porosos do que os restantes ($\approx 29\%$), a ligeira diferença de altura que este provete apresenta, menor que os restantes, e o menor coeficiente de saturação ($\approx 84\%$) justificam o facto de manifestarem valores assintóticos ligeiramente inferiores aos tijolos provenientes das outras fachadas estudadas.

A caracterização da secagem foi efetuada em provetes com dimensões de $3 \times 3 \times 3$ [cm], durante um período de 90 dias para garantir a estabilização da massa dos provetes.

A caracterização da cinética de secagem é importante para o estudo do comportamento de materiais porosos, dado que alguns dos processos de degradação mais importantes são em grande parte levados a cabo não pela presença da água, mas essencialmente pela sua saída por evaporação, como é o caso da cristalização de sais em consequência da evaporação de soluções que percolam o interior dos materiais porosos (*Ferreira Pinto, 2002*).

A **Figura 6.17** apresenta as curvas de secagem e a **Tabela 6.8** resume os valores do teor em água, no início e fim do ensaio, e do índice de secagem obtidos com base no ensaio de secagem realizado.

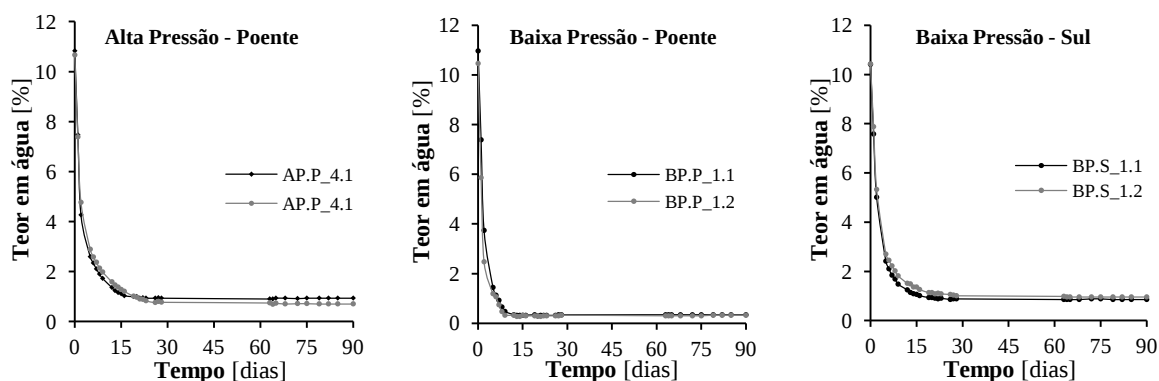


Figura 6.17 - Curvas de secagem.

Tabela 6.8 - Caraterização da secagem.

<i>Provetes</i>	<i>Alta Pressão - Poente</i>		<i>Baixa Pressão - Poente</i>		<i>Baixa Pressão - Sul</i>	
	<i>AP.P_4.1</i>	<i>AP.P_4.2</i>	<i>BP.P_1.1</i>	<i>BP.P_1.2</i>	<i>BP.S_1.1</i>	<i>BP.S_1.2</i>
<i>Teor em água no início do ensaio [%]</i>	10,8	10,7	11,0	10,5	10,4	10,4
<i>Teor em água final do ensaio [%]</i>	0,9	0,7	0,3	0,3	0,9	1,0
<i>Tempo de ensaio [Dias]</i>	90	90	90	90	90	90
<i>Índice de secagem</i>	0,115	0,108	0,054	0,049	0,114	0,129

A análise da **Tabela 6.8** e da **Figura 6.17** permite verificar que as amostras **AP.P** e **BP.S** apresentam cinéticas de secagem similares, em consequência da semelhança das caraterísticas físicas que apresentam, em termos de porosidade e capacidade de absorção de água.

Os tijolos provenientes da fachada Poente do edifício de Baixa Pressão revelam uma cinética de secagem mais rápida e completa, como é possível verificar através da **Figura 6.17** e dos valores do índice de secagem e do teor em água no final do ensaio, **Tabela 6.8**.

Entende-se por permeabilidade como sendo a propriedade de qualquer material poroso, que permite que um fluido passe através dos seus poros quando este se encontra submetido a um gradiente de pressão (**Jastrzebski, 1987**). A forma como se criou esse gradiente de pressão foi explicada anteriormente, em 6.3.2, aquando da descrição dos métodos de ensaio.

A permeabilidade ao vapor de água foi avaliada em provetes com dimensões de 4x4 [cm] de largura e espessuras da ordem de 10±2mm, sendo os mesmos impermeabilizados lateralmente. As condições de temperatura e humidade relativa do ambiente exterior às células de ensaio foram, em termos médios, de 29° (± 2) e 72% (±1), respetivamente.

A **Figura 6.18** apresenta os gráficos da variação de massa das células de medição, ao longo do tempo, dos vários provetes ensaiados que permitiram a obtenção dos valores de fluxo de vapor de água (**q_a**), bem como os resultados dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água (**δ**) apresentados na **Tabela 6.9**.

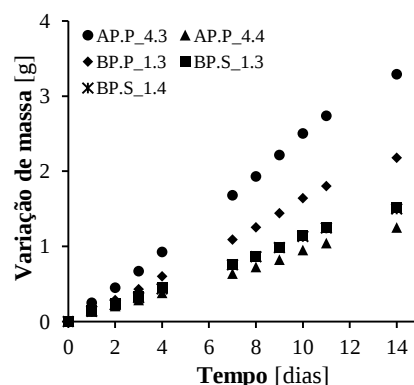


Figura 6.18 - Variação de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

Tabela 6.9 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água.

Amostras de Tijolo		Espessura [mm]	Fluxo de vapor [kg/(m ² .h)]	Coef. permeabilidade vapor x E-9 [kg/(m.h.Pa)]
Alta Pressão Poente	AP.P_4.3	9,5	0,0066	21,58
	AP.P_4.4	11,0	0,0025	9,65
Baixa Pressão Poente	BP.P_1.3	8,0	0,0044	12,18
Baixa Pressão Sul	BP.S_1.3	12,0	0,0030	12,56
	BP.S_1.4	11,5	0,0030	11,84

Os tijolos das fachadas Poente e Sul do edifício da Baixa Pressão, exceto a **AP.P_4.3**, manifestaram coeficientes de permeabilidade ao vapor de água semelhantes e ligeiramente superiores aos dos tijolos da fachada Poente do edifício da Alta Pressão, **Tabela 6.9**.

A **Figura 6.19** apresenta uma representação esquemática da localização dos provetes que foram ensaiados à permeabilidade do vapor de água nos tijolos. Nesta figura é possível verificar que todos os provetes, com exceção do **AP.P_4.3**, incluíam a face exterior dos tijolos, face esta que, devido ao processo de conformação dos tijolos, se apresenta mais colmatada. Esta diferença de características superficiais apresenta-se como sendo a justificação para que a permeabilidade ao vapor de água do provete **AP.P_4.3**, obtido no interior do tijolo, tenha sido bastante superior a todos os outros provetes ensaiados, nomeadamente à do outro provete (**AP. P_4.4**) do mesmo tijolo que foi ensaiado.

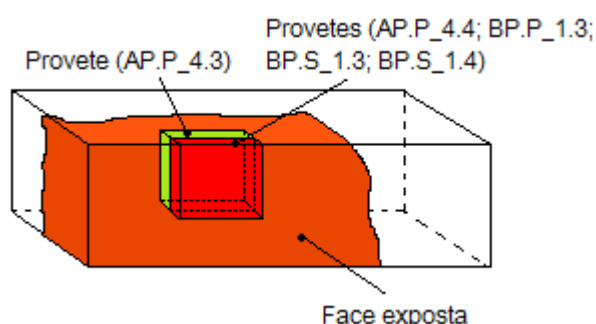


Figura 6.19 - Esquema representativo da localização dos provetes ensaiados.

A caracterização colorimétrica das amostras de tijolo provenientes de edifícios da Central Tejo foi efetuada antes da execução dos cortes realizados para a obtenção de provetes destinados à caracterização física.

A caracterização colorimétrica incluiu não só as amostras objeto de caracterização física (**AP.P**, **BP.P** e **BP.S**), como também amostras de tijolos provenientes das fachadas Norte do edifício da Alta Pressão (**AP.N**), da Subestação (**S**) e da fachada Sul do Edifício de Escritórios (**ES**).

Esta caracterização da cor das amostras de tijolo foi efetuada através da medição das suas componentes cromáticas no sistema CIELAB, sendo este o sistema que melhor se correlaciona com a avaliação visual (**Costa, Delgado Rodrigues, 1994**).

Na **Tabela 6.10** são apresentados os valores médios e o desvio-padrão das coordenadas cromáticas e de croma determinados nas amostras de tijolo das fachadas.

Tabela 6.10 – Coordenadas colorimétricas e correspondentes valores de croma.

<i>Amostra de Tijolo</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C*</i>	<i>Amostras</i>	<i>Número de medições</i>
<i>Alta Pressão - Norte</i>	50,74 (± 0,39)	19,26 (± 0,71)	25,38 (± 1,19)	31,86 (± 1,32)	1	5
<i>Alta Pressão - Poente</i>	46,92 (± 6,98)	21,59 (± 3,67)	26,52 (± 2,58)	34,27 (± 3,90)	4	42
<i>Baixa Pressão - Sul</i>	46,53 (± 0,26)	18,41 (± 1,00)	21,79 (± 1,43)	28,52 (± 1,74)	1	12
<i>Baixa Pressão - Poente</i>	31,09 (± 6,48)	16,39 (± 3,14)	20,09 (± 2,87)	25,94 (± 4,16)	3	25
<i>Subestação - Norte</i>	51,78 (± 0,02)	25,54 (± 0,05)	33,79 (± 0,09)	42,35 (± 0,05)	1	4
<i>Escritórios - Sul</i>	44,50 (± 4,85)	18,61 (± 3,77)	24,71 (± 4,70)	30,96 (± 5,90)	1	6

As amostras que manifestaram maior variabilidade colorimétrica foram as da fachada Poente dos edifícios da AP e BP.

As **Figuras 6.20** e **6.21** apresentam, respetivamente, a representação da coordenada L^* versus croma e a representação da coordenada a^* versus b^* para as diferentes amostras em estudo. A análise da **Figura 6.20** permite verificar que é possível distinguir as amostras em dois grupos em termos de coordenada L^* . Num grupo encontram-se as amostras da fachada Poente da BP com valores mais baixos de L^* , entre 20 a 40, no outro grupo as restantes amostras.

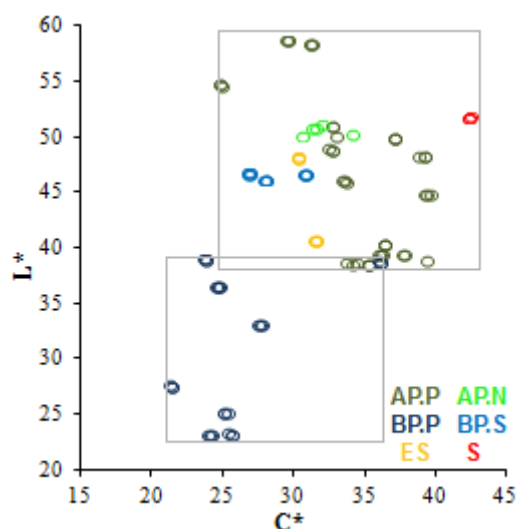


Figura 6.20 – Cor dos tijolos. Luminosidade (L^*) vs Cromo (C^*).

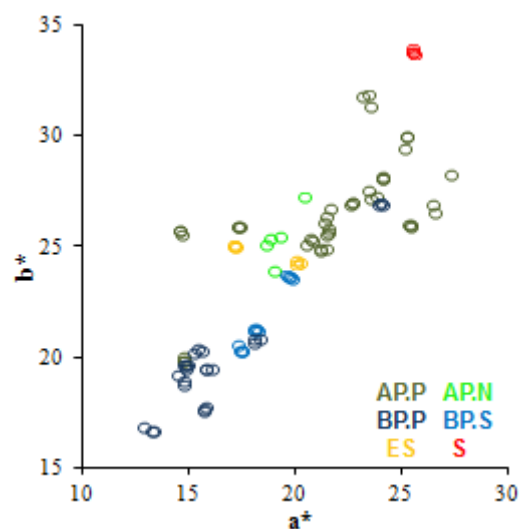


Figura 6.21 – Cor dos tijolos. Coordenadas a^* vs b^* .

A semelhança de aspeto visual das amostras provenientes da fachada Poente do edifício da AP e da fachada Sul do edifício da BP refletem-se, como era expectável, na caracterização colorimétrica, assim como a tonalidade mais escura dos tijolos proveniente da fachada Poente do edifício da BP também se refletiu no fato de ter sido nesta amostra que foram obtidos os valores mais baixos da coordenada L^* .

Relativamente às amostras de tijolos provenientes da fachada Norte dos edifícios da AP, da Subestação e da fachada Sul do edifício de escritórios, a caracterização colorimétrica evidencia que:

- os tijolos da fachada Sul do Edifício de Escritórios possuem cor semelhante à dos tijolos constituintes das fachadas Sul e Poente dos edifícios, respetivamente de Baixa e Alta Pressão;
- os tijolos da fachada Norte do edifício de AP são os mais claros de todos os estudados, embora com valores de croma semelhantes aos dos tijolos das fachadas Sul e Poente dos edifícios, respetivamente da Baixa e Alta Pressão;
- os tijolos da fachada Norte da Subestação distinguem-se das restantes.

6.5 – Caraterização dos Tijolos utilizados em substituições

6.5.1 – Enquadramento

Este subcapítulo procede à caraterização dos tijolos utilizados nas ações de substituição realizadas nas fachadas dos edifícios de Baixa e Alta Pressão da Central Tejo, os quais foram gentilmente fornecidos pela Direção do Museu da Eletricidade.

Aquando da intervenção de 2011, referida anteriormente, foram empregues em substituições de tijolos pré-existentes das fachadas dos dois edifícios principais (AP e BP) três tipos de tijolos, de modo a substituir pontualmente os tijolos que se encontravam em elevado estado de degradação e na substituição integral de determinadas áreas dos panos de alvenaria descritos em 5.3.5.

A seleção destes novos tijolos envolveu na altura um processo cuidado de pesquisa de tijolos existentes no mercado que satisfizessem determinadas caraterísticas, nomeadamente dimensionais, de peso e fundamentalmente de cor, com o objetivo de garantir a integridade do aspeto visual das fachadas dos edifícios.

Os tijolos empregues nas ações de substituição realizadas pela empresa STB foram provenientes de três fábricas diferentes, nomeadamente a fábrica portuguesa *Cerâmica Vale da Gândara, S.A*, a fábrica espanhola *La Paloma Cerámicas* e a fábrica *York Handmade* de Inglaterra. No presente estudo adotou-se a seguinte designação para os tijolos: tijolo Português (**P**), tijolo Espanhol (**E**) e tijolo Inglês (**I**), definida com base na localização da unidade de produção.

O Tijolo Inglês, contrariamente aos restantes, envolve um processo de conformação e fabrico artesanal. Este tijolo foi fabricado por forma a garantir especificações em termos de dimensão e tonalidade⁴ estabelecidas por parte da Direção do Museu da Eletricidade. A **Tabela 6.11** apresenta algumas caraterísticas dos diferentes tijolos, cuja perceção pode ser incrementada através da visualização da **Figura 6.22** e das correspondentes fichas técnicas apresentadas no **Anexo A**.

⁴ Tonalidade final adquirida através do coque (tipo de combustível derivado da hulha – carvão betuminoso) e carbonato de bário. [9][10]

Tabela 6.11 - Dimensões dos diferentes tipos de tijolo.

Tijolo	Tipo	Dimensões [cm]
<i>Português</i>	<i>Maciço</i>	<i>23x10,5x7</i>
<i>Inglês</i>	<i>Perfurado</i>	<i>22,5x11x6,5</i>
<i>Espanhol</i>	<i>Perfurado</i>	<i>24x11,5x6,5</i>



Figura 6.22 - Diferentes tipos de tijolo de substituição.

A caracterização dos tijolos baseou-se no estudo de tijolos inteiros e em provetes provenientes destes obtidos por corte.

Tendo em consideração a configuração e dimensões dos vários tipos de tijolos, e de modo a garantir a sua caracterização física com base em provetes de dimensão semelhante para todos eles, procedeu-se ao corte de tijolos com o objetivo de obter provetes com as seguintes dimensões: 1,5x1,5x6,5 [cm], 4x4x0,8 [cm] e 3x3x6,5 [cm]. A configuração dos tijolos espanhóis não permitiu a obtenção de provetes com 3x3x6,5 [cm].

Os provetes foram cortados de três tijolos de cada tipo, tendo o cuidado de obter provetes provenientes do interior, junto às faces e cantos dos tijolos, com o objetivo de poder avaliar a homogeneidade das características dos tijolos.

A **Figura 6.23** permite observar provetes provenientes dos três tipos de tijolos estudados.

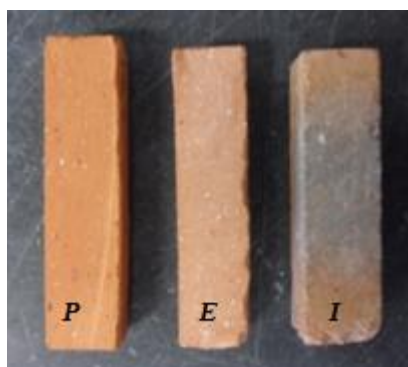


Figura 6.23 - Provetes prismáticos dos diferentes tipos de tijolo de substituição ensaiados.

A caracterização dos três tipos de tijolos inclui, além da caracterização física, a caracterização colorimétrica e a determinação da velocidade de propagação de ultra-sons.

A **Figura 6.24** resume a caracterização realizada, com base nos tijolos inteiros e nos provetes.

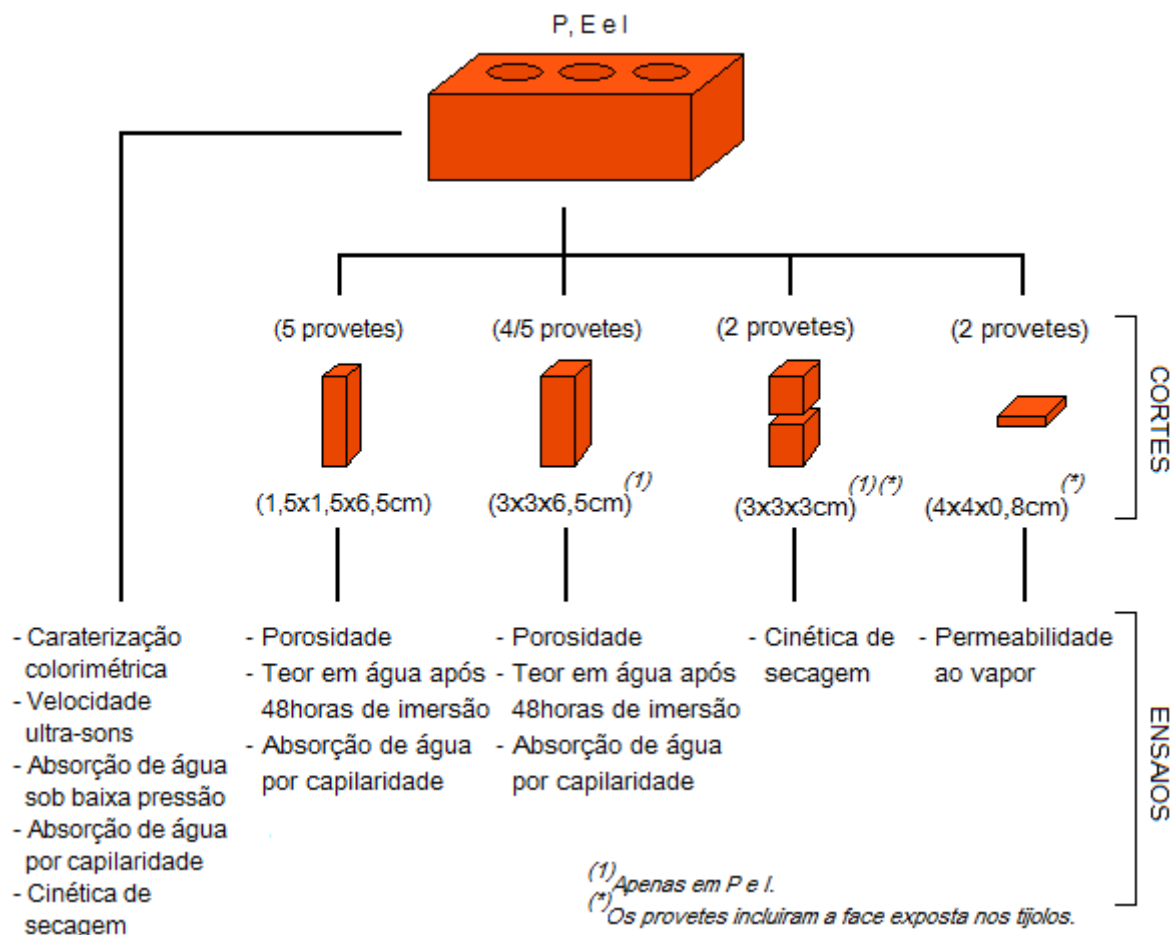


Figura 6.24 - Plano de ensaios realizado nos três tipos tijolos de substituição.

6.5.3 – Caracterização dos Tijolos

Nos tijolos de substituição foram realizados também ensaios de caracterização física, o ensaio colorimétrico e ainda o ensaio de determinação da velocidade de ultra-sons.

Nesta secção pretende-se apresentar e discutir os resultados referentes a estes ensaios, sendo para o efeito também mencionados alguns aspetos tidos em consideração.

A **Tabela 6.12** apresenta os valores de massa volúmica (real e aparente), porosidade, teor em água após 48h da imersão em água, teor máximo em água e coeficiente de saturação determinados em provetes com dimensões de 1,5x1,5x6,5 [cm] e 3x3x6,5 [cm] provenientes dos três tipos de tijolos em estudo.

Tabela 6.12 - Massa volúmica, porosidade, teor em água e coeficiente de saturação nos tijolos de substituição.

Dimensões [cm]	Provete	Massa volúmica		Porosidade <i>P</i> [%]	Teor em água		Coef. Saturação <i>CS</i> [%]
		Real	Aparente		máximo	às 48 horas	
		$M_{vol.real}$ [kg/m ³]	$M_{vol.aparente}$ [kg/m ³]		$W_{máx}$ [%]	W_{48h} [%]	
1,5x1,5x6,5	<i>P4_2</i>	2680	2140	20,3	9,5	6,9	73
	<i>P5_3</i>	2690	2120	21,1	10,0	7,6	76
	<i>P6_1</i>	2690	2120	21,1	9,9	7,9	80
	<i>I4_2</i>	2630	1930	26,5	13,7	10,5	77
	<i>I5_2</i>	2600	1950	25,2	13,0	9,5	73
	<i>I6_1</i>	2600	1920	26,4	13,8	10,2	74
	<i>E4_3</i>	2640	2190	16,9	7,7	5,8	75
	<i>E5_2</i>	2630	2200	16,4	7,4	5,8	78
	<i>E6_1</i>	2650	2190	17,2	7,8	6,2	79
3x3x6,5	<i>P4_7</i>	2670	2110	21,2	10,0	7,4	74
	<i>P5_5</i>	2680	2130	20,4	9,6	7,6	79
	<i>P6_4</i>	2670	2140	19,9	9,3	6,7	72
	<i>I4_4</i>	2610	1920	26,7	13,9	10,7	77
	<i>I5_6</i>	2560	1950	23,8	12,2	8,3	68
	<i>I6_5</i>	2580	1940	24,9	12,8	8,7	68

Os tijolos estudados apresentam valores de massa volúmica real compreendidos entre 2560 Kg/m³ e 2690 Kg/m³. A análise da **Tabela 6.12** permite verificar que os valores de massa volúmica não foram sensíveis à diferença de dimensões dos provetes ensaiados, bem como evidencia uma maior heterogeneidade associada ao tijolo Inglês. O tijolo Português foi o que revelou valores mais elevados de massa volúmica real (2670 a 2690 kg/m³), seguido pelo tijolo Espanhol (2630 a 2650 kg/m³) e pelo tijolo Inglês (2560 a 2630 kg/m³).

A análise dos valores de porosidade e teor em água dos tijolos permite verificar que eles revelam características diferentes. O tijolo inglês evidencia-se pelo facto de ser o mais poroso (25-26%) e com maior capacidade de absorção de água. O tijolo espanhol revelou-se como sendo o menos poroso (17%) e com menor capacidade de absorção de água.

A determinação da absorção de água por capilaridade foi realizada em tijolo inteiro, segundo duas direções (Z e Y), e em provetes com dimensões 1,5x1,5x6,5 [cm]. Com exceção do tijolo Espanhol, a absorção de água por capilaridade dos restantes tijolos foi também avaliada em provetes com dimensões de 3x3x6,5 [cm].

A opção pelo estudo da absorção de água por capilaridade nos tijolos inteiros, segundo duas direções, teve como objetivo estudar a variabilidade da capacidade de absorção dos tijolos quando a água é absorvida pela face exposta na fachada (direção Y) e pela face de assentamento dos tijolos (direção Z), **Figura 6.25**

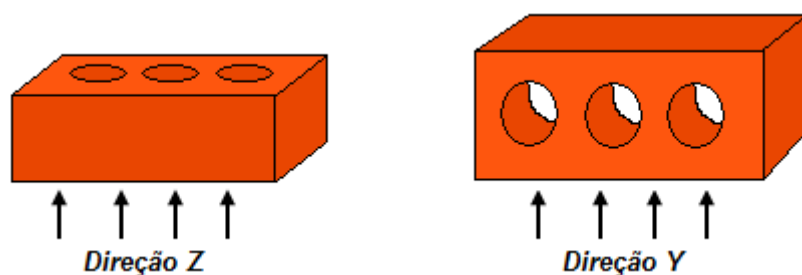


Figura 6.25 - Representação das duas direções do fluxo.

A Figura 6.26 apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade obtidas nos ensaios realizados em tijolos inteiros segundo as direções Y e Z. A análise das curvas da absorção de água permite verificar a existência de características da absorção de água diferentes segundo as duas direções analisadas. Os tijolos manifestam menor capacidade de absorção na direção da face exposta nas fachadas (Y) do que na perpendicular ao seu assentamento (Z). Estas diferenças refletem-se nos valores dos coeficientes de absorção de água por capilaridade e valores assintóticos, como são possíveis de observar na Tabela 6.13.

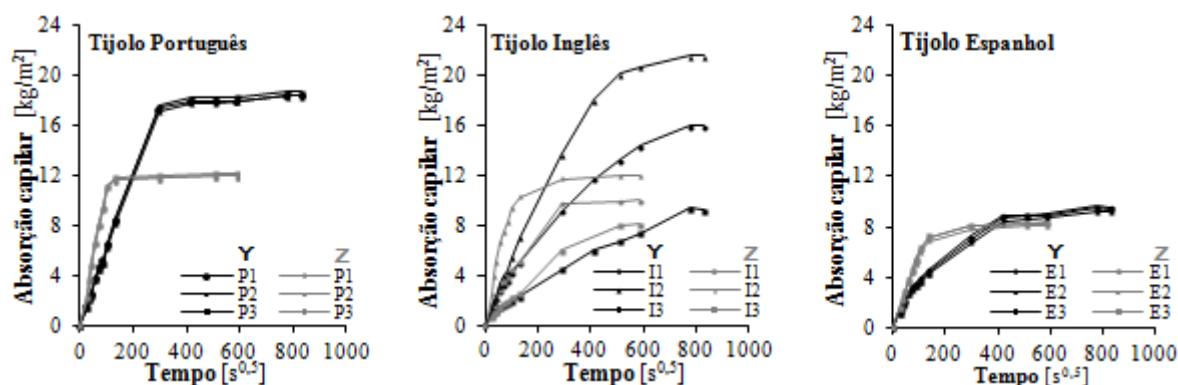


Figura 6.26 - Curvas de absorção de água por capilaridade em tijolos, segundo as direções Z e Y.

Tabela 6.13 - Coeficientes de capilaridade em tijolos. Direções Z e Y.

Direção	Tijolo	Área dos provetes em contato com água [cm²]	CC [kg/(m².s ^{0.5})]	CC Valor médio	VA [kg/m²]	VA Valor médio
Z	P1	241,5	0,110	0,110	12,0	12,1
	P2		0,111		12,0	
	P3		0,109		12,3	
	I1	209,8	0,043	0,055	9,9	10,0
	I2		0,099		12,0	
	I3		0,024		8,1	
	E1	172,5	0,061	0,060	8,3	8,2
	E2		0,059		8,1	
	E3		0,062		8,3	

Tabela 6.13 - Coeficientes de capilaridade em tijolos. Direções Z e Y (continuação).

<i>Direção</i>	<i>Tijolo</i>	<i>Área dos provetes em contato com água</i> [cm ²]	<i>CC</i> [kg/(m ² .s ^{0,5})]	<i>CC</i> <i>Valor médio</i>	<i>VA</i> [kg/m ²]	<i>VA</i> <i>Valor médio</i>
Y	P1	161,0	0,061	0,060	18,5	18,5
	P2		0,059		18,4	
	P3		0,061		18,7	
	I1	146,3	0,035	0,031	15,9	15,5
	I2		0,046		21,5	
	I3		0,014		9,2	
	E1	156,0	0,047	0,045	9,5	9,4
	E2		0,043		9,1	
	E3		0,046		9,4	

Os três tipos de tijolo revelaram diferenças significativas nas cinéticas de absorção de água por capilaridade. O tijolo Português foi o que manifestou maior capacidade de absorção de água, não só em termos de velocidade inicial de absorção de água como da máxima quantidade de água absorvida, muito embora não tenha sido aquele que se revelou mais poroso. O tijolo Espanhol, o que possui menor porosidade, originou valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade e valores assintóticos inferiores aos obtidos no tijolo Português. O tijolo Inglês revelou características muito heterogêneas, **Figura 6.26**.

A análise da **Figura 6.26** permite verificar que nas curvas de absorção de água relativas à direção Y do tijolo Espanhol é possível identificar a presença de duas taxas de absorção de água, uma inicial e outra correspondente à fase intermédia entre o troço inicial e a tendência para estabilização da massa dos tijolos. A **Tabela 6.14** apresenta os coeficientes de capilaridade destas duas fases.

Tabela 6.14 - Coeficientes de capilaridade do tijolo Espanhol. Direção Y.

<i>Tijolo</i>	<i>Troço inicial</i>		<i>Troço intermédio</i>	
	<i>CC</i>	<i>CC</i>	<i>CC</i>	<i>CC</i>
	[kg/(m ² .s ^{0,5})]	<i>Valor médio</i>	[kg/(m ² .s ^{0,5})]	<i>Valor médio</i>
E1	0,047	0,045	0,016	0,016
E2	0,043		0,016	
E3	0,046		0,017	

Os valores dos coeficientes de absorção de água por capilaridade apresentados na **Tabela 6.14** evidenciam a redução da velocidade de absorção de água registada na fase “intermédia” do ensaio. Este comportamento terá sido condicionado pela presença de furação do tijolo.

A **Figura 6.27** apresenta a curva de absorção de água por capilaridade e a altura de franja líquida, e permite verificar que após a altura líquida atingir, aproximadamente, os 3 cm de altura, esta já se encontra na zona perfurada e o instante em que isto ocorre coincide com a redução da taxa de absorção de água.

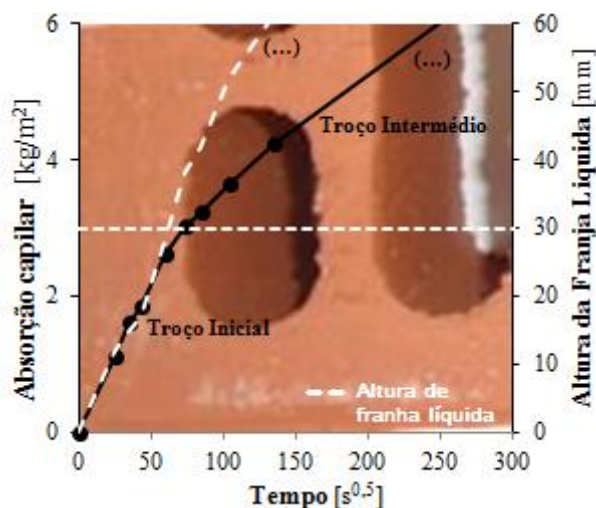


Figura 6.27 - Curva de absorção de água por capilaridade e altura da franja líquida em função da raiz do tempo. Tijolo Espanhol direção Y.

Muito embora o tijolo Inglês também possua furação no seu interior, a sua cinética inicial de absorção de água por capilaridade, segundo a direção Y, não foi afetada.

Importa também salientar o facto de, no final do ensaio de absorção de água por capilaridade na direção Z, o tijolo Inglês apresentar sais à sua superfície (**Figura 6.28**). Este fenómeno possivelmente deveu-se ao facto deste tijolo conter sais no interior, derivado do seu processo de fabrico, que foram transportados para a superfície por capilaridade.



Figura 6.28 - Presença de sais à superfície do tijolo Inglês. Ensaio de absorção de água por capilaridade (direção Z).

As **Figuras 6.29 e 6.30** apresentam as curvas de absorção de água por capilaridade dos tijolos, obtidos com base na caracterização de provetes com dimensões de 1,5x1,5x6,5 [cm] e 3x3x6,5 [cm], respetivamente. A análise destas figuras permite verificar que os resultados dos ensaios não foram sensíveis às diferenças de dimensões dos provetes ensaiados, bem como facilmente evidencia a heterogeneidade do tijolo inglês.

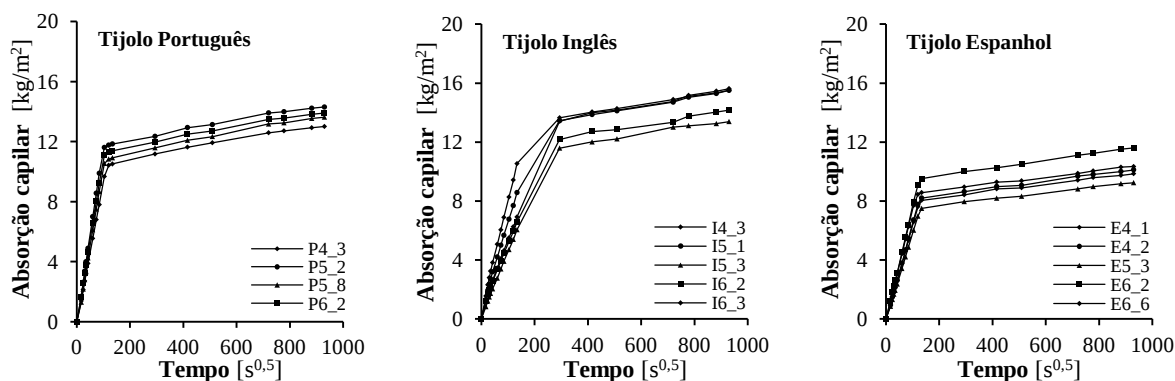


Figura 6.29 - Curvas de absorção de água por capilaridade obtidas em provetes de dimensão 1,5x1,5x6,5 [cm].

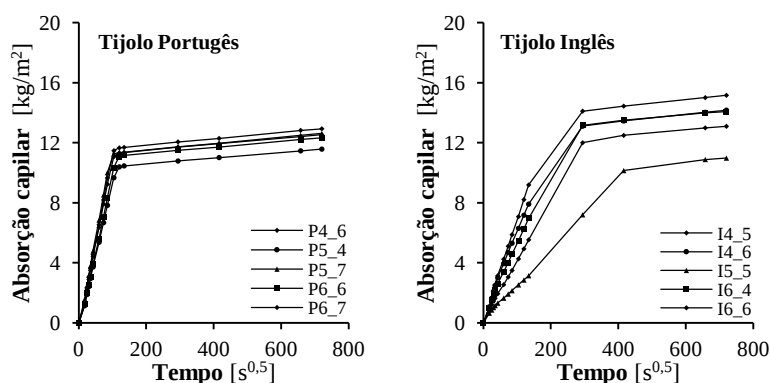


Figura 6.30 - Curvas de absorção de água por capilaridade obtidas em provetes de dimensão 3x3x6,5 [cm].

A **Tabela 6.15** apresenta os valores do coeficiente de capilaridade e os valores assintóticos de todos os provetes ensaiados.

As diferenças nas características de absorção de água por capilaridade identificadas com base nos ensaios realizados em tijolos inteiros, **Figura 6.26 e Tabela 6.13**, são as mesmas que agora podemos observar nos ensaios realizados em provetes. Note-se também que a caracterização dos provetes provenientes do tijolo Inglês evidenciou a sua heterogeneidade.

Tabela 6.15 – Coeficientes de capilaridade nos provetes de tijolos de substituição.

<i>Dimensões [cm]</i>	<i>Provete</i>	<i>Área dos provetes em contato com água [cm²]</i>	<i>CC [kg/(m².s^{0,5})]</i>	<i>CC Valor médio</i>	<i>VA [kg/m²]</i>	<i>VA Valor médio</i>
1,5x1,5x6,5	P4_3	2,40	0,092	0,104 (± 0,01)	13,0	13,7 (± 0,5)
	P5_2	2,56	0,114		14,3	
	P5_8	2,40	0,101		13,6	
	P6_2	2,25	0,108		13,9	
	I4_3	2,25	0,081	0,058 (± 0,02)	15,5	14,8 (± 1,0)
	I5_1	2,38	0,067		15,5	
	I5_3	2,89	0,046		13,4	
	I6_2	2,21	0,046		14,2	
	I6_3	2,40	0,049		15,6	
	E4_1	2,38	0,073	0,067 (± 0,01)	10,3	10,2 (± 0,9)
	E4_2	2,56	0,064		10,1	
	E5_3	3,04	0,058		9,2	
	E6_2	2,25	0,076		11,6	
	E6_3	2,72	0,063		9,9	
3x3x6,5	P4_6	9,92	0,106	0,103 (± 0,01)	12,5	12,4 (± 0,5)
	P5_4	8,70	0,091		11,6	
	P5_7	10,23	0,112		12,6	
	P6_6	10,54	0,095		12,3	
	P6_7	9,52	0,110		12,9	
	I4_5	8,99	0,069	0,049 (± 0,02)	15,2	13,5 (± 1,6)
	I4_6	8,37	0,061		14,2	
	I5_5	9,61	0,025		11,0	
	I6_4	8,68	0,049		14,1	
	I6_6	9,60	0,041		13,1	

A **Tabela 6.15** permite verificar a grande variação dos valores do coeficiente de absorção de água por capilaridade do tijolo Inglês, nos quais se registou um valor mínimo e valor máximo de 0,025 e 0,081 kg/(m².s^{0,5}), respetivamente. Esta dispersão de resultados resulta da heterogeneidade dos tijolos que a análise da ascensão de água ao longo da altura dos provetes confirma. Esta ascensão não ocorreu de forma contínua apresentando zonas visíveis em algumas faces completamente secas como mostra a **Figura 6.31**.

Este tipo de ocorrência pode ter como justificação, o facto de o tijolo possuir zonas do seu espaço poroso com porosidade fechada ou com muito reduzida interconetividade (**Hall, Hoff, 2002**).

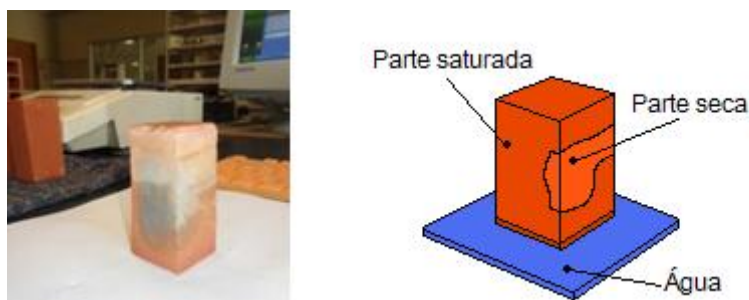


Figura 6.31 – Observação da presença de porosidade fechada.

Os provetes de tijolo Português e Espanhol apresentaram coeficientes de capilaridade superiores aos do tijolo Inglês, com valores médios da ordem de 0,10 e 0,07 kg/(m².s^{0,5}), respetivamente.

Todos os restantes dados referentes a leituras de massa e alturas de franja capilar são apresentados no **Anexo B**.

A **Tabela 6.16** apresenta a quantidade de água absorvida ao fim de 30s, 1min, 5min e 30min avaliada com recurso ao ensaio de absorção de água sob baixa pressão, pelo método do cachimbo, para os tijolos em estudo. Nesta mesma tabela são apresentados também os valores médios e respetivos desvios-padrão. O ensaio realizou-se em três tijolos de cada tipo (**P**, **E** e **I**), tendo sido realizadas três medições em cada tijolo, mais precisamente na face que fica exposta aquando do seu assentamento.

Tabela 6.16 - Ensaio de absorção de água sob baixa pressão.

Tijolo	Quantidade de água absorvida [cm ³]							
	30 segundos		1 minuto		5 minutos		30 minutos	
	Individuais	Média	Individuais	Média	Individuais	Média	Individuais	Média
P1	0,15 ⁽¹⁾	0,11 (± 0,04)	0,25 ⁽¹⁾	0,17 (± 0,05)	1,05 ⁽¹⁾	0,57 (± 0,06)	2,60 ⁽¹⁾	1,39 (± 0,02)
	0,10		0,15		0,50		1,20	
	0,05		0,10		0,50		1,25	
P2	0,15	0,11 (± 0,04)	0,20	0,17 (± 0,05)	0,60	0,57 (± 0,06)	1,45	1,39 (± 0,02)
	0,15		0,20		0,65		1,55	
	0,10		0,15		0,55		1,40	
P3	0,10	0,11 (± 0,04)	0,15	0,17 (± 0,05)	0,55	0,57 (± 0,06)	1,45	1,39 (± 0,02)
	0,10		0,15		0,55		1,30	
	0,15		0,25		0,65		1,50	
I1	0,25 ⁽¹⁾	0,11 (± 0,02)	0,40 ⁽¹⁾	0,15 (± 0,00)	1,05 ⁽¹⁾	0,38 (± 0,04)	2,00 ⁽¹⁾	0,69 (± 0,12)
	0,10		0,15		0,35		0,75	
	0,10		0,15		0,35		0,65	
I2	0,10	0,11 (± 0,02)	0,15	0,15 (± 0,00)	0,45	0,38 (± 0,04)	0,85	0,69 (± 0,12)
	0,10		0,15		0,40		0,80	
	0,10		0,15		0,40		0,80	
I3	0,10	0,11 (± 0,02)	0,15	0,15 (± 0,00)	0,35	0,38 (± 0,04)	0,55	0,69 (± 0,12)
	0,15		0,15		0,35		0,55	
	0,10		0,15		0,35		0,60	

⁽¹⁾Valores não contabilizados para efeitos de cálculo de média e desvio-padrão.

Tabela 6.16 - Ensaio de absorção de água sob baixa pressão (continuação).

Tijolo	Quantidade de água absorvida [cm ³]							
	30 segundos		1 minuto		5 minutos		30 minutos	
	Individuais	Média	Individuais	Média	Individuais	Média	Individuais	Média
E1	0,05	0,09 (± 0,02)	0,10	0,14 (± 0,02)	0,35	0,41 (± 0,03)	0,85	0,92 (± 0,06)
	0,10		0,15		0,45		1,00	
	0,10		0,15		0,40		0,90	
E2	0,10		0,15		0,40		0,90	
	0,10		0,15		0,45		1,00	
	0,10		0,15		0,40		0,90	
E3	0,05		0,15		0,40		0,85	
	0,10		0,15		0,45		0,95	
	0,10		0,15		0,40		0,90	

Os resultados da absorção de água sob baixa pressão podem também ser apresentados em termos da quantidade de água absorvida por unidade de superfície em função do tempo, **Figura 6.32**.

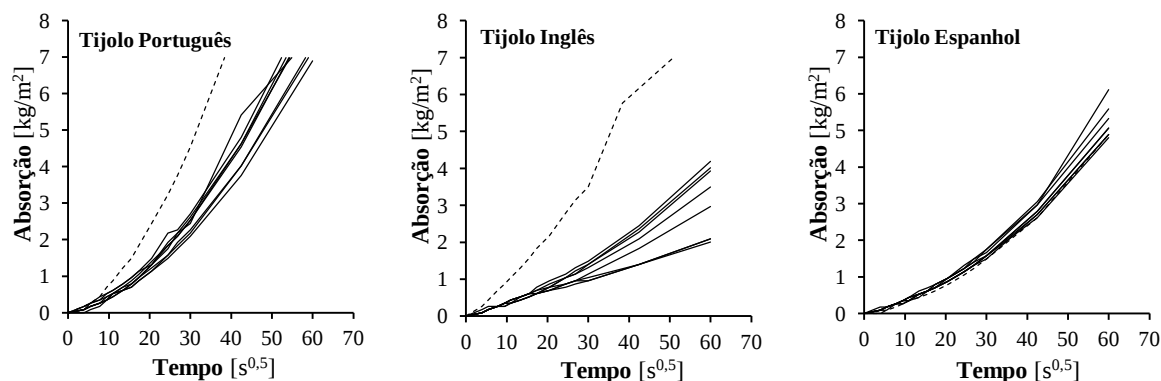


Figura 6.32 - Curvas de absorção de água sob baixa pressão.

A análise dos resultados dos ensaios de absorção de água sob baixa pressão permite identificar o tijolo do tipo Inglês como sendo aquele que revela menor capacidade de absorção, muito embora seja o mais poroso, bem como aquele que se registou maior variabilidade nos resultados obtidos.

O estudo da cinética de secagem foi realizado em tijolos inteiros, segundo a direção Y, **Figura 6.25**, e em provetes com dimensões de 3x3x3 [cm]. A secagem do tijolo Espanhol não foi realizada em provetes, devido ao facto de a sua furação impedir a obtenção de provetes com forma adequada à realização do ensaio. Os resultados apresentados relativos à cinética de secagem foram obtidos com base na caracterização de 1 tijolo inteiro e 2 provetes por tipo de tijolo.

A caracterização da cinética de secagem dos tijolos de substituição e das amostras de tijolos pré-existentes foi realizada ao mesmo tempo, numa sala com condições de temperatura e humidade controladas.

Da análise das curvas de secagem dos provetes, **Figura 6.33** e dos resultados apresentados na **Tabela 6.17**, é possível verificar uma vez mais a heterogeneidade do tijolo Inglês, devido à diferença nas cinéticas de secagem registadas entre dois provetes ensaiados. O provete **I6_4.1** apresenta um teor em água inicial superior ao do provete **I5_4.2**, conseguindo este secar mais rapidamente que o outro, **Figura 6.33**.

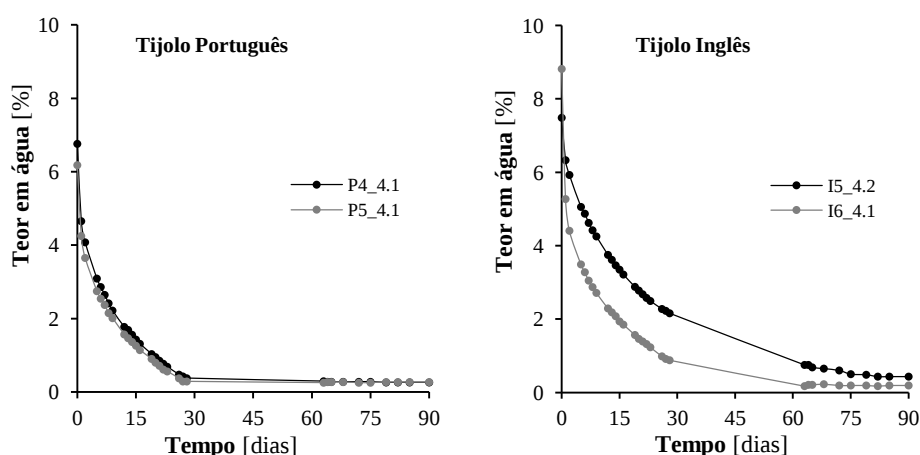


Figura 6.33 - Curvas de secagem dos provetes.

Tabela 6.17 - Caracterização da secagem nos provetes.

Provetes	Tijolo Português		Tijolo Inglês	
	P4_4.1	P5_4.1	I5_4.2	I6_4.2
Teor em água no início do ensaio [%]	6,8	6,2	7,5	8,8
Teor em água no final do ensaio [%]	0,3	0,3	0,4	0,2
Tempo de ensaio [Dias]	90	90	90	90
Índice de secagem	0,119	0,115	0,254	0,115

A **Figura 6.34** e a **Tabela 6.18** apresentam, respetivamente, as curvas de secagem e os valores do índice de secagem, dos teores em água no início e no fim do ensaio e a duração do ensaio obtidas nos ensaios realizados em tijolos inteiros.

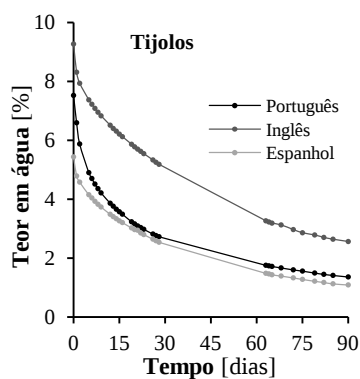


Tabela 6.18 – Caracterização da secagem nos tijolos.

Tijolo	Português	Inglês	Espanhol
	P1	I1	E1
Teor em água no início do ensaio [%]	7,5	9,3	5,4
Teor em água no final do ensaio [%]	1,4	2,6	1,1
Tempo de ensaio [Dias]	90	90	90
Índice de secagem	0,341	0,487	0,412

Figura 6.34 – Curvas de secagem dos tijolos.

Analisando as curvas é possível verificar que os tijolos Português e Espanhol revelaram curvas de secagem semelhantes, muito embora o tijolo Português tenha apresentado uma velocidade de secagem inicial mais rápida que justificou o menor índice de secagem obtido.

O tijolo Inglês distingue-se claramente dos restantes não só pelo maior valor de índice de secagem como pela curva de secagem que revelou. Este tijolo seca muito lentamente.

Os valores do índice de secagem obtidos nos tijolos e nos provetes são diferentes. Esta diferença tem como origem o facto dos índices de secagem dos tijolos inteiros terem sido calculados sem que estes tivessem estabilizado o seu teor em água. Caso tivesse sido possível garantir o prolongamento no tempo do ensaio de secagem, até a estabilização do seu teor em água, seria expectável que ocorresse a redução dos valores do índice de secagem e que estes ficassem da mesma ordem de grandeza dos obtidos em provetes, dado que as cinéticas obtidas foram semelhantes, **Figura 6.35**.

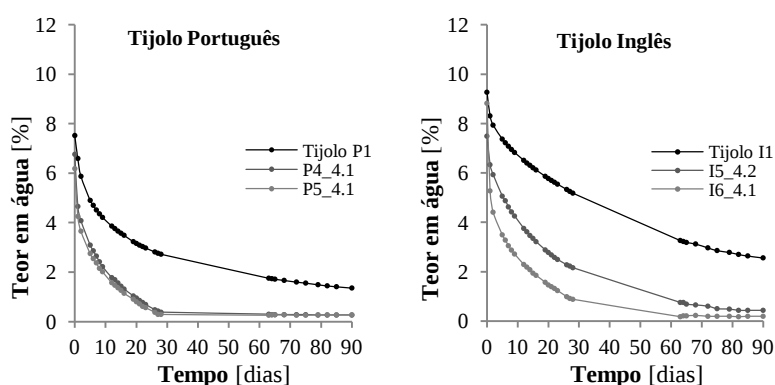


Figura 6.35 - Curvas de secagem dos provetes e tijolo. Português (esquerda) e Inglês (direita).

A permeabilidade ao vapor de água foi avaliada em provetes, cortados dos tijolos de modo a conter a face exposta do tijolo, com secção de 4x4 [cm] e espessura de 8±2mm, tendo sido os

mesmos impermeabilizados lateralmente. As condições de temperatura e humidade relativa do ambiente exterior às células de ensaio foram em termos médios de 21° (±2) e 73% (±1), respetivamente.

A **Figura 6.36** apresenta a variação de massa das células de medição registada ao longo do tempo, fenómeno causado pela permeabilidade ao vapor de água.

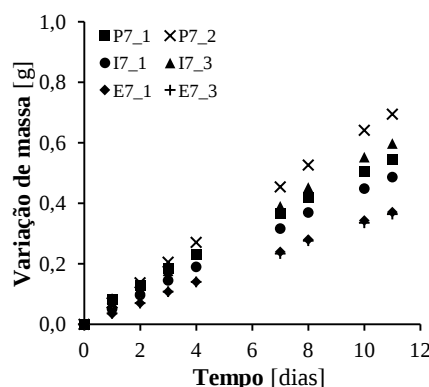


Figura 6.36 - Variação de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

A **Tabela 6.19** apresenta os valores do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água dos tijolos e verifica-se que o tijolo Inglês é o que apresenta valores superiores, seguido pelo Português e por último pelo Espanhol. O tijolo Inglês é o que apresenta, uma vez mais, maior variabilidade.

Tabela 6.19 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água.

Tijolos		Coef. permeabilidade vapor $\times E-9$ [kg/(m.h.Pa)]	Porosidade ⁽¹⁾ [%]
Português	P7_1	4,11	21
	P7_2	4,20	
Inglês	I7_1	4,39	26
	I7_3	5,34	
Espanhol	E7_1	3,76	17
	E7_3	3,72	
	E7_3 ⁽²⁾	3,91	

⁽¹⁾Porosidade média avaliada em provetes de 1,5x1,5x6,5 [cm].

⁽²⁾Provete ensaiado em simultâneo com as amostras pré-existentes descrito em 6.4.4.

A **Tabela 6.19** inclui dois valores do coeficiente de permeabilidade para o provete **E7_3**, uma vez que ele foi também ensaiado, como provete de controlo, no ensaio de permeabilidade ao vapor das amostras de tijolos pré-existentes. Recorde-se que este ensaio tinha sido realizado em ambiente um pouco distinto, mais propriamente em termos de temperatura (~29°C), exibindo valores de coeficientes de permeabilidade muito próximos.

A caracterização colorimétrica dos tijolos foi efetuada através da medição das coordenadas colorimétricas, no sistema CIELAB, numa face exposta e numa face lateral de três tijolos de cada tipo. O tijolo Inglês foi avaliado em duas zonas distintas, uma vez que apresentava na face exposta duas tonalidades. Numas zonas registava-se a presença de uma tonalidade semelhante à que se encontrava em quase todo o tijolo, noutras, designada no âmbito deste trabalho de *pigmentada*, nas quais foi aplicado um pigmento no seu processo de fabrico de modo a enquadrar-se na fachada onde foi aplicado.

A **Tabela 6.20** apresenta os valores médios e o desvio-padrão das coordenadas colorimétricas e o valor de croma determinados nestes mesmos tijolos.

Tabela 6.20 - Coordenadas colorimétricas e correspondentes valores de croma.

<i>Tipo de Tijolo</i>	L^*	a^*	b^*	C^*	<i>Número de medições</i>
<i>Português</i>	41,75 ($\pm 0,72$)	31,81 ($\pm 0,66$)	39,27 ($\pm 1,44$)	50,53 ($\pm 1,51$)	36
<i>Espanhol</i>	42,51 ($\pm 0,85$)	28,72 ($\pm 0,60$)	32,94 ($\pm 1,18$)	43,71 ($\pm 1,20$)	36
<i>Inglês (normal)</i>	40,73 ($\pm 1,86$)	24,01 ($\pm 1,77$)	28,16 ($\pm 2,10$)	37,00 ($\pm 2,7$)	54
<i>Inglês (pigmentada)</i>	31,09 ($\pm 3,72$)	13,39 ($\pm 2,99$)	16,75 ($\pm 2,88$)	21,46 ($\pm 4,06$)	27

Como era de esperar, o tijolo Inglês apresenta maior variabilidade nas suas coordenadas colorimétricas e no valor de croma, sendo esta variabilidade mais marcante aquando da análise da zona pigmentada.

Nas **Figuras 6.37 e 6.38**, podemos observar respetivamente os gráficos de luminosidade *versus* croma e das coordenadas a^* *versus* b^* .

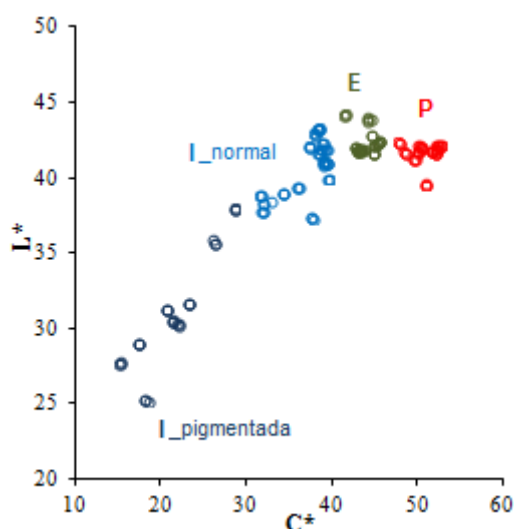


Figura 6.37 – Cor dos tijolos. Luminosidade (L^*) *versus* Croma (C^*).

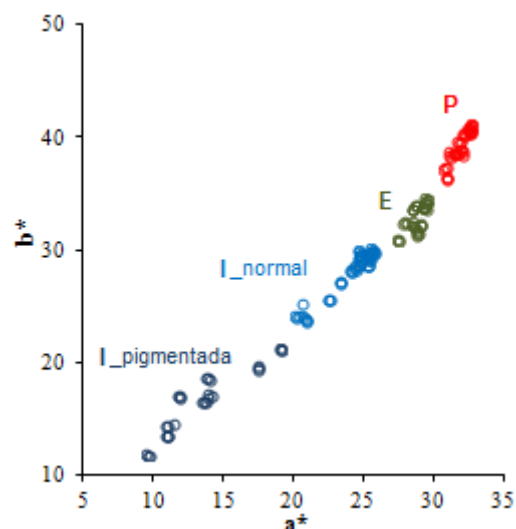


Figura 6.38 – Cor dos tijolos. Coordenadas a^* *versus* b^* .

Da análise da **Figura 6.37** é possível observar que os três tipos de tijolo apresentam-se com valores de luminosidade muito próximos, todos na gama dos 35 a 45, sendo o tijolo Português o que apresenta maior saturação (croma C^*), seguido do Espanhol e do Inglês, por esta ordem. A parte pigmentada, por sua vez, apresenta valores mais baixos de L^* e de C^* do que as restantes amostras.

Em termos das coordenadas a^* e b^* (**Figura 6.38**), é de salientar que os maiores valores foram obtidos no tijolo Português, seguindo-se o Espanhol e Inglês. A zona pigmentada do tijolo Inglês apresenta valores mais baixos de a^* e b^* , que corresponde a apresentar uma tonalidade acinzentada. A parte pigmentada foi posteriormente removida, por meio de abrasão, uma vez que não se enquadrava corretamente na fachada.

Uma vez que os tijolos Inglês e Espanhol são perfurados, furados na direção perpendicular ao plano de assentamento, optou-se por realizar o ensaio de propagação de ultra-sons pelo método indireto na face exposta do tijolo.

O ensaio realizou-se em 2 tijolos de cada tipo em análise após a sua prévia secagem.

Na **Figura 6.39** e na **Tabela 6.21** são apresentados, respetivamente, os gráficos de distância *versus* tempo de propagação da onda e os valores obtidos para as velocidades de propagação de ultra-sons. Da análise da tabela é possível notar-se que, para o mesmo tipo de tijolo existe alguma variabilidade nos valores de velocidade, sendo esta mais acentuada no tijolo Português.

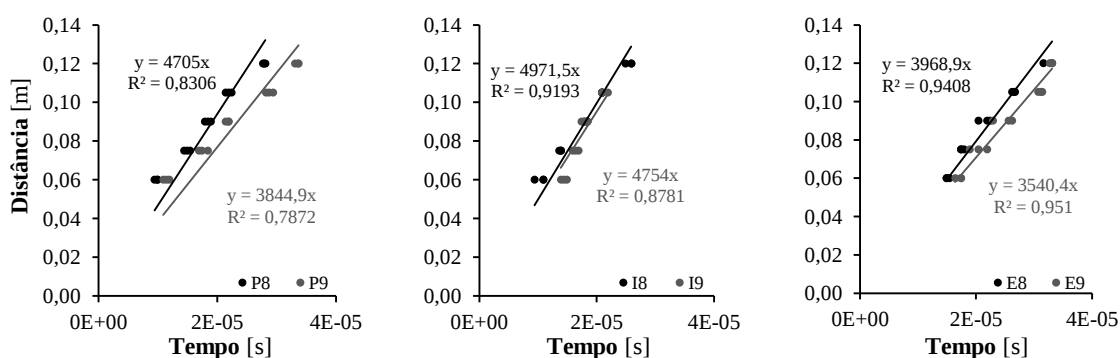


Figura 6.39 – Representação da distância percorrida vs tempo. Determinação da velocidade de ultra-sons.

Tabela 6.21 - Velocidade de propagação de ultra-sons.

Tijolo		Velocidade propagação ultra-sons [m/s]
Português	P8	4700
	P9	3850
Inglês	I8	4970
	I9	4750
Espanhol	E8	3970
	E9	3540

A **Figura 6.40** apresenta um gráfico que procura relacionar os valores da velocidade de propagação de ultra-sons com os valores de porosidade média dos tijolos.

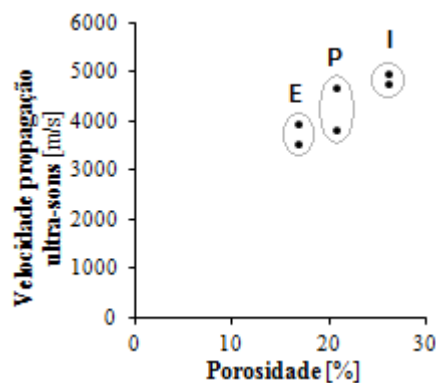


Figura 6.40 - Velocidade de propagação de ultra-sons vs porosidade.

Da análise desta figura é possível concluir que, contrariamente ao que era de esperar, para valores mais altos de porosidade obteve-se valores mais altos de velocidade de propagação.

Outro fator que poderá estar em causa neste fenómeno e nesta variabilidade observada é o facto deste tipo de materiais poder conter microfissuras internas originadas no seu processo de fabrico, nomeadamente na fase do processamento térmico cujo processo envolve temperaturas muito elevadas (*Ferreira Pinto, Gomes, 2010*).

6.6 – Análise comparativa das características dos materiais pré-existent e de substituição

6.6.1 – Considerações gerais

Este subcapítulo apresenta uma análise comparativa das propriedades das amostras dos tijolos das fachadas e os materiais de substituição. Para tal, importa fazer uma distinção dos diferentes tipos de tijolo e amostras presentes em cada um dos dois edifícios e realizar esta análise de forma independente.

A **Tabela 6.22** resume a presença dos diversos tijolos de substituição nas fachadas cujas amostras foram também caracterizadas e que serão alvo de comparação neste subcapítulo.

Tabela 6.22 - Amostras de tijolos pré-existent e tijolos de substituição que serão objeto de comparação.

Edifício	Fachada	Amostra pré-existente	Tijolos de substituição		
			Português (P)	Inglês (I)	Espanhol (E)
Baixa Pressão	Poente	BP.P	✓	✓	-
Baixa Pressão	Sul	BP.S	✓	-	-
Alta Pressão	Poente	AP.P	✓	-	✓

(✓) - Presença; (-) Ausência.

6.6.2 – Edifício de Baixa Pressão – Fachada Poente

A **Figura 6.41** apresenta os valores médios da massa volúmica real e da porosidade dos materiais presentes nesta fachada.

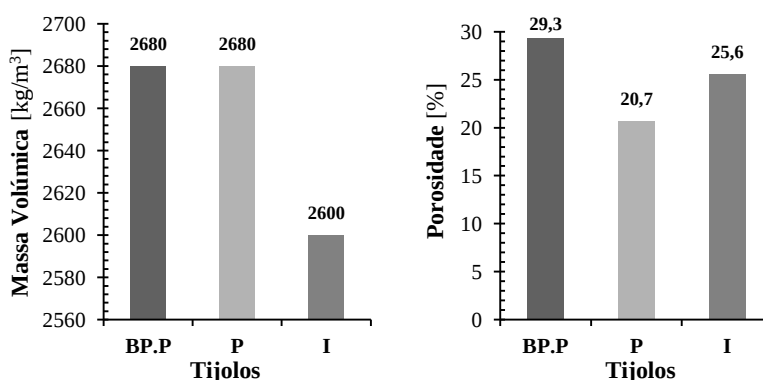


Figura 6.41 - Valores médios de MVR (esquerda) e porosidade (direita) de tijolos da fachada Poente da BP.

Da análise destes resultados é possível concluir que o tijolo de substituição Português apresenta valores de MVR superiores ao tijolo Inglês, sendo este valor idêntico ao obtido na amostra pré-existente.

A amostra pré-existente é a que apresenta o maior valor de porosidade (29%), seguindo-se o tijolo Inglês com um valor também elevado de porosidade, cerca de 26%.

Através da análise da **Tabela 6.23** é possível verificar que a amostra pré-existente manifestou maior capacidade de absorção que os tijolos, apresentando maiores teores em água e maior facilidade de saturação (CS). O tijolo Português é o tijolo que apresenta menor capacidade de absorção.

Tabela 6.23 - Teores em água e correspondente coeficiente de saturação.

Tijolo/amostra	Teor em água		Coef. Saturação
	máximo	às 48 horas	
	$W_{máx}$ [%]	W_{48h} [%]	CS [%]
BP.P	15,5	13,0	84
I	13,0	9,0	73
P	9,6	7,3	76

Avaliando as curvas médias de absorção de água por capilaridade em função da raiz quadrada do tempo, **Figura 6.42**, é possível concluir que a amostra pré-existente exibe uma taxa de absorção de água por capilaridade superior à dos tijolos de substituição. Esta amostra apresenta ainda uma maior capacidade de absorção de água.

A **Figura 6.43** apresenta os coeficientes de capilaridade, resultantes destas mesmas curvas, de onde se pode concluir que a amostra apresenta um CC maior que os restantes tijolos. O tijolo Inglês é o que apresenta um menor valor para esse coeficiente, sendo cerca de metade do CC obtido no tijolo Português.

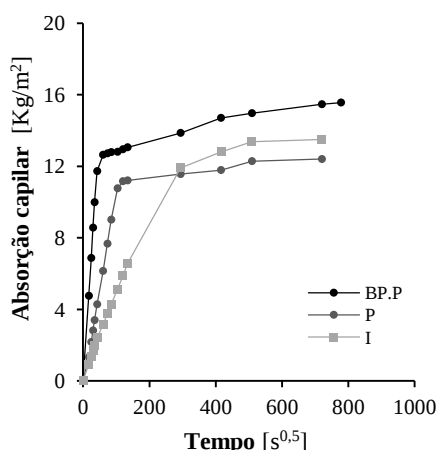


Figura 6.42 - Curvas médias de absorção capilar.
Fachada Poente da BP.

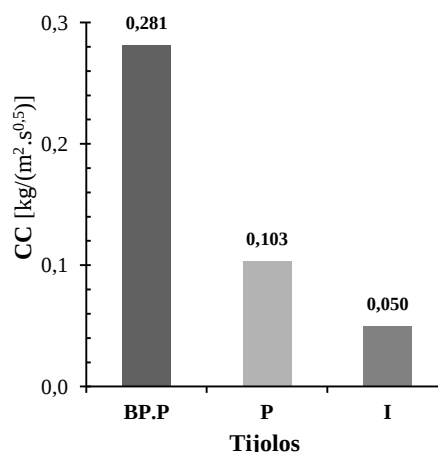


Figura 6.43 - Coeficientes de capilaridade da
fachada Poente da BP.

As **Figuras 6.44 e 6.45** apresentam respetivamente as curvas médias de secagem e os valores médios dos índices de secagem obtidos anteriormente para materiais presentes na fachada Poente da BP.

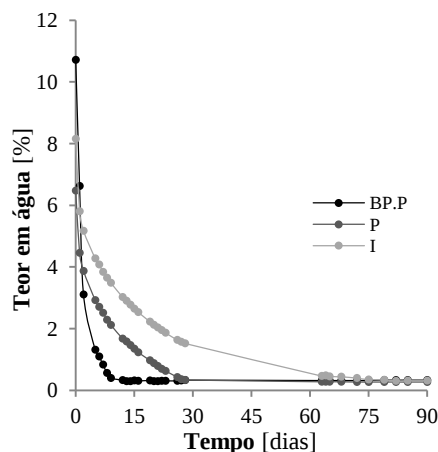


Figura 6.44 - Curvas médias de secagem. Fachada Poente da BP.

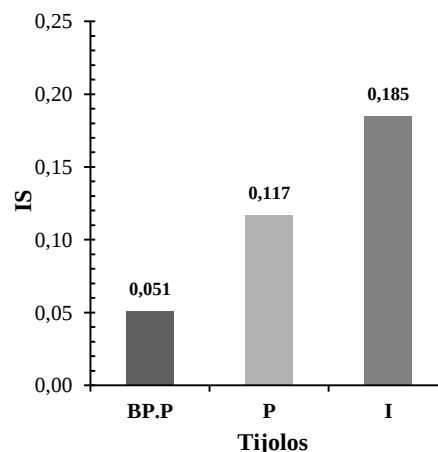


Figura 6.45 – Índices de secagem da fachada Poente da BP.

Através da observação destes resultados é possível concluir que a amostra de tijolo pré-existente apresenta maior facilidade de secagem face dos tijolos de substituição, apresentando um IS muito baixo. Esta facilidade de secagem é em muito causada pela elevada porosidade que esta amostra apresenta.

Por sua vez, o tijolo Inglês que também apresentava uma porosidade considerável, é o que apresenta um IS mais elevado. Este fenómeno é causado possivelmente pela configuração da sua estrutura porosa interna e pela heterogeneidade que causou dispersão nos valores determinados para este índice (**Tabela 6.17**).

A **Figura 6.46** apresenta os valores médios dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água obtidos nos tijolos desta fachada. Da análise desta figura é possível constatar que, a amostra pré-existente, e tendo em conta a sua elevada porosidade face aos tijolos utilizados em substituições, apresentada anteriormente, também apresenta um maior coeficiente de permeabilidade ao vapor de água. O tijolo Português, que apresenta uma porosidade mais baixa, apresenta o coeficiente de permeabilidade mais baixo.

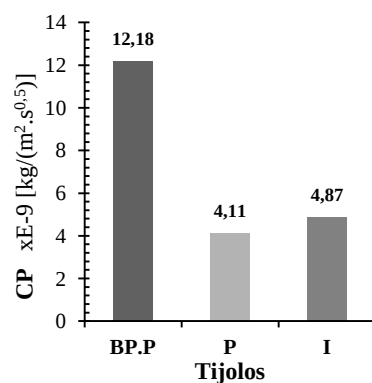


Figura 6.46 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água. Fachada Poente da BP.

Nas **Figuras 6.47 e 6.48** são apresentados os resultados do ensaio colorimétrico para as amostras provenientes das fachadas da BP e para os tijolos de substituição.

Quanto à luminosidade (L^*) os tijolos de substituição apresentam valores da mesma ordem de grandeza, de 35 a 45, diferindo da amostra da fachada Poente que apresenta uma maior variabilidade desta coordenada, apresentando valores mais baixos. Em termos de croma as amostras apresentam valores da mesma ordem de grandeza, sendo inferiores aos valores apresentados para os tijolos Português e Inglês.

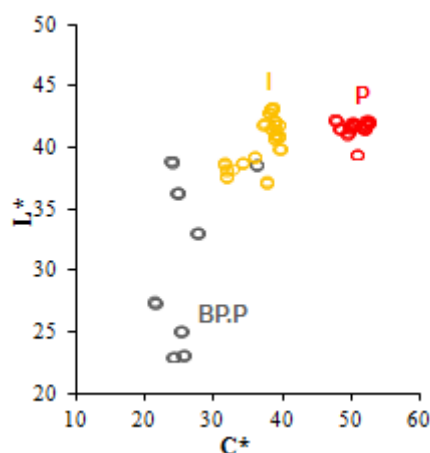


Figura 6.47 - Cor dos tijolos da fachada Poente da BP. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).

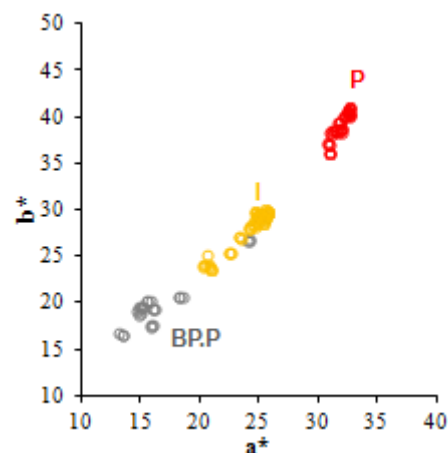


Figura 6.48 – Cor dos tijolos da fachada Poente da BP. Coordenadas a^* vs b^* .

É possível ainda verificar da análise da **Figura 6.48** que as amostras provenientes da fachada Poente e o tijolo Inglês se destacam do tijolo Português, em termos das suas coordenadas colorimétricas, apresentando este último valores mais elevados para as coordenadas a^* e b^* .

6.6.3 – Edifício de Baixa Pressão – Fachada Sul

A **Figura 6.49** apresenta os valores médios de massa volúmica e da porosidade acessível à água para os tijolos e amostras da fachada Sul da BP.

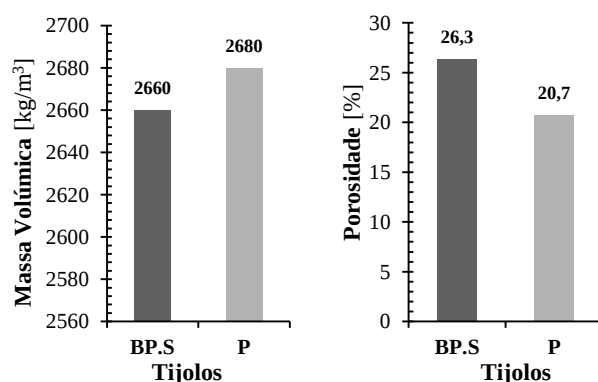


Figura 6.49 - Valores médios de MVR (à esquerda) e porosidade (à direita) nos tijolos da fachada Sul da BP.

Através da **Figura 6.49** conclui-se que ambos os tijolos apresentam valores de MVR muito próximos.

Analisando os materiais em termos de porosidade (**Figura 6.49**), teores em água e respetivo coeficiente de saturação, presentes na **Tabela 6.24**, é possível concluir que, a amostra recolhida da fachada Sul manifestou valores superiores de porosidade e maior capacidade de absorção de água, como é possível observar pela análise dos valores do teor máximo em água e após 48 horas de imersão. Esta amostra apresentou ainda uma maior facilidade de saturação que o tijolo Português, **Tabela 6.24**.

Tabela 6.24 - Teores em água e correspondente coeficiente de saturação.

Tijolo/amostra	Teor em água		Coef. Saturação
	máximo	às 48 horas	
	$W_{máx}$ [%]	W_{48h} [%]	CS [%]
BP.S	13,4	12,0	90
P	9,6	7,3	76

As **Figuras 6.50** e **6.51** apresentam as curvas médias de absorção de água por capilaridade e os respetivos coeficientes de capilaridade, respetivamente. É possível verificar que a amostra pré-existente apresentou um coeficiente de capilaridade ligeiramente superior ao do tijolo Português (**Figura 6.51**), bem como uma maior capacidade de absorção, com um valor médio a rondar os 18 kg/m^2 (**Figura 6.50**).

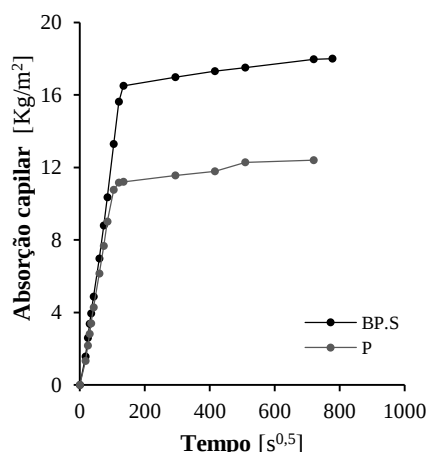


Figura 6.50 - Curvas médias de absorção capilar.
Fachada Sul da BP.

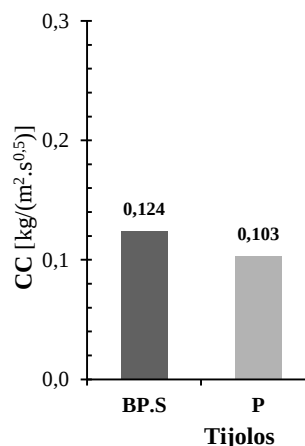


Figura 6.51 - Coeficientes de capilaridade da fachada Sul da BP.

A caracterização da secagem nesta fachada encontra-se representada nas **Figuras 6.52 e 6.53**. Da análise destas figuras conclui-se que o tijolo Português e os tijolos pré-existent revelaram cinéticas de secagem semelhantes. Note-se porém que, a amostra pré existente embora apresente um teor em água inicial mais elevado, consegue mais rapidamente atingir o seu teor em água final do que o tijolo Português. Importa salientar ainda que a amostra pré-existente no final do ensaio apresentava um teor em água de 1%, superior ao observado no tijolo Português.

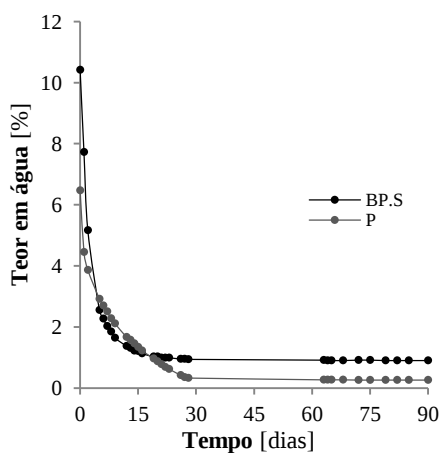


Figura 6.52 - Curvas médias de secagem. Fachada Sul da BP.

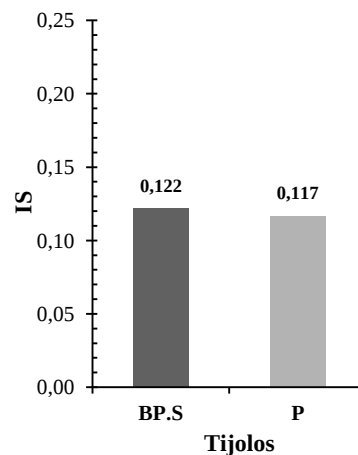


Figura 6.53 – Índices de secagem da fachada Sul da BP.

A **Figura 6.54** apresenta os valores médios dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água dos tijolos da fachada Sul do edifício de Baixa Pressão. Analisando estes resultados,

conclui-se que a amostra pré-existente apresenta um valor maior do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do que o tijolo utilizado em substituições (**Figura 6.54**).

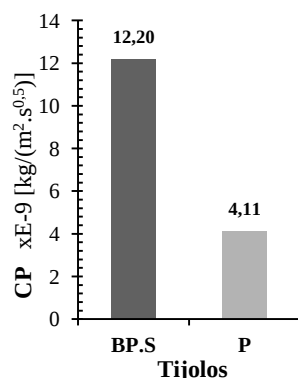


Figura 6.54 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água. Fachada Sul da BP.

Nas **Figuras 6.55** e **6.56** são apresentados os resultados do ensaio colorimétrico para as amostras proveniente da fachada Sul da BP e para o tijolo de substituição Português. Estes materiais apresentam características colorimétricas muito distintas, manifestando a amostra da fachada Sul valores de luminosidade (L^*) superiores ao tijolo Português (**Figura 6.55**) e valores inferiores das coordenadas a^* e b^* , **Figura 6.56**.

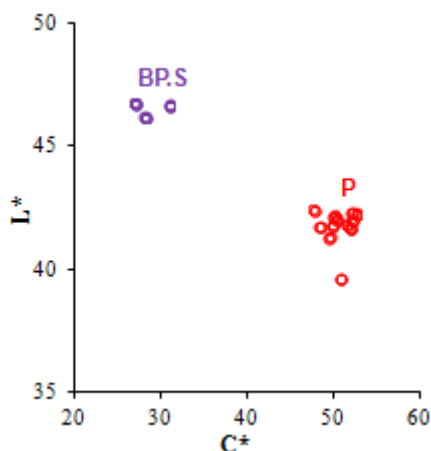


Figura 6.55 - Cor dos tijolos da fachada Sul da BP.
Luminosidade (L^*) vs Cromia (C^*).

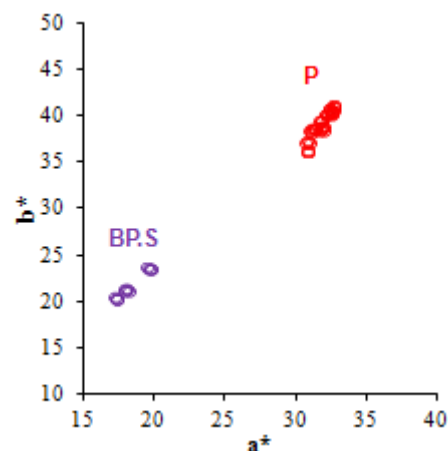


Figura 6.56 – Cor dos tijolos da fachada Sul da BP.
Coordenadas a^* vs b^* .

6.6.4 – Edifício de Alta Pressão

A amostra de tijolo pré-existente, que foi alvo de caracterização neste mesmo trabalho, é provenientes da fachada Poente deste mesmo edifício. Recorde-se que este edifício foi alvo de uma posterior ampliação no sentido Poente, em 1950, sendo esta possivelmente uma das amostras aplicadas durante a mesma.

Os valores médios de porosidade e de massas volúmicas são apresentados nas **Figuras 6.57 e 6.58**.

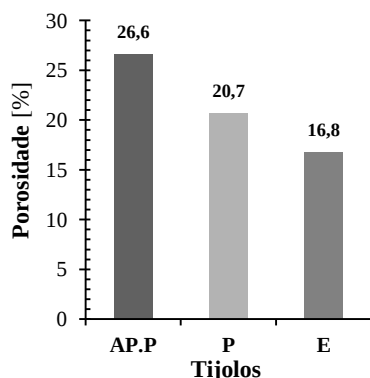


Figura 6.57 – Valores médios de porosidade em tijolos da AP.

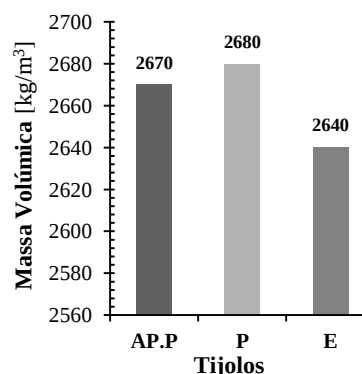


Figura 6.58 – Valores médios de MVR de tijolos da AP.

A amostra de tijolo pré-existente apresenta em média um valor de porosidade mais elevado que os restantes tijolos, cerca de 27%, seguindo-se o tijolo Português e o Espanhol por esta mesma ordem.

Os valores de MVR são muito próximos na amostra pré-existente e no tijolo Português, respetivamente 2670kg/m³ e 2680 kg/m³, apresentando um valor mais baixo no tijolo Espanhol (2640 kg/m³).

Através da análise da **Tabela 6.25** é possível verificar que a amostra pré-existente apresenta teores em água superiores aos dos tijolos substituídos bem como uma maior facilidade de saturação (CS).

Tabela 6.25 – Teores em água e correspondentes coeficientes de saturação.

Tijolo/amostra	Teor em água		Coef. Saturação
	máximo	às 48 horas	
	$W_{máx}$ [%]	W_{48h} [%]	CS [%]
AP.P	13,6	12,1	89
P	9,6	7,3	76
E ⁽¹⁾	7,7	5,9	77

⁽¹⁾Por avaliação em provetes prismáticos de dimensões 1,5x1,5x6,5 [cm].

Analisando as curvas médias de absorção de água por capilaridade e os respetivos valores do coeficiente de capilaridade (CC), presentes nas **Figuras 6.59 e 6.60**, respetivamente, é possível notar uma maior taxa de absorção de água inicial, bem como uma maior capacidade

de absorção na amostra pré-existente. Por sua vez, é o tijolo Espanhol o que apresenta um menor valor CC.

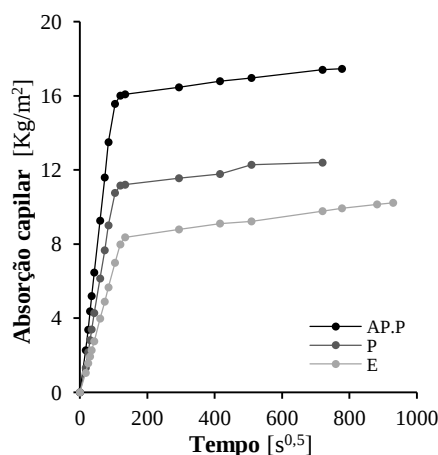


Figura 6.59 - Curvas médias de absorção capilar. Fachada Poente da AP.

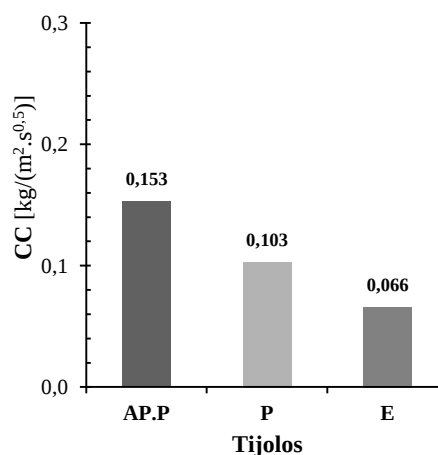


Figura 6.60 - Coeficientes de capilaridade da fachada Poente da AP.

Nas **Figuras 6.61 e 6.62** surge a caracterização da secagem, para a amostra pré-existente e tijolo português, através de um gráfico representativo das curvas de secagem e os valores médios dos respetivos índices de secagem, respetivamente.

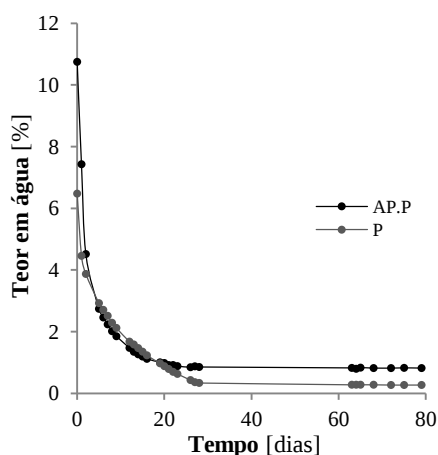


Figura 6.61 - Curvas médias de secagem. Fachada Poente da AP.

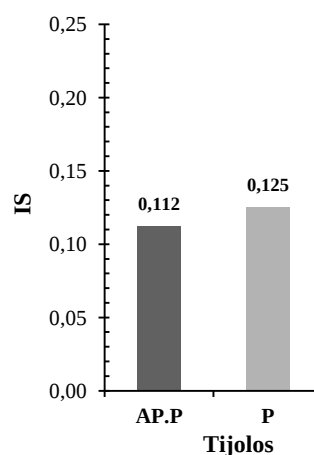


Figura 6.62 - Índices de secagem da fachada Poente da AP.

Da análise destas figuras conclui-se que a amostra pré existente e o tijolo de substituição apresentam valores de IS semelhantes. Avaliando ainda a cinética de secagem, é possível concluir que, apesar da amostra da fachada Poente apresentar um teor inicial mais elevado que o tijolo Português, conseguiu com que a sua massa estabilizasse mais rapidamente. Importa

salientar ainda que, a amostra pré-existente apresentava, no final do ensaio, um teor em água ligeiramente superior ao observado no tijolo de substituição.

Os valores obtidos dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água, **Figura 6.63**, permitem concluir que a amostra pré-existente apresenta uma maior facilidade em permear o vapor de água. Por sua vez, é o tijolo Espanhol o que apresenta um menor valor do coeficiente de permeabilidade ao vapor, sendo este o que também apresenta uma menor porosidade e menor capacidade de absorção.

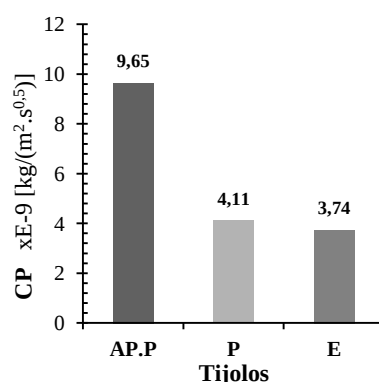


Figura 6.63 - Coeficientes de permeabilidade ao vapor de água. Fachada Poente da AP.

Quanto à avaliação da cor nestes tijolos, é possível concluir que a amostra pré-existente apresenta maior variabilidade, em termos de luminosidade (L^*) e de croma (C^*), face aos tijolos de substituição aplicados (**Figura 6.64**). Relativamente às coordenadas colorimétricas a^* e b^* apresentadas na **Figura 6.65**, são os tijolos de substituição, e em especial o tijolo Português, os que apresentam valores mais altos.

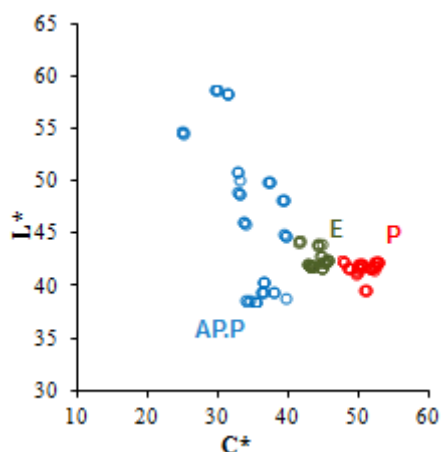


Figura 6.64 - Cor dos tijolos da fachada Poente da AP. Luminosidade (L^*) vs Croma (C^*).

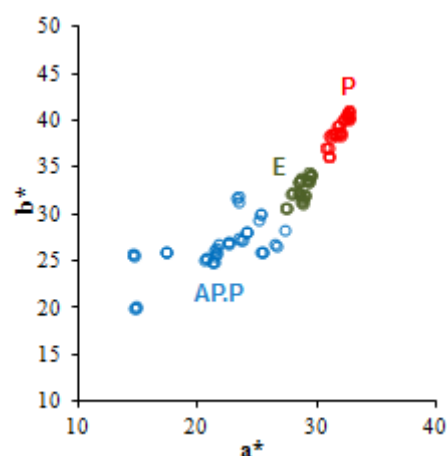


Figura 6.65 – Cor dos tijolos da fachada Poente da AP. Coordenadas a^* vs b^* .

7 – Conclusões e proposta para desenvolvimentos futuros

7.1 – Conclusões gerais

A Central Tejo foi uma central termoelétrica construída no início do século XX que cessou a sua atividade no início da década de 70. Ao longo destes anos, os edifícios que compõem a central foram sofrendo várias ampliações e adaptações de modo a satisfazer as necessidades de consumo de energia.

Ao longo deste trabalho abordou-se as diversas fases de construção e ampliação da Central Tejo, os processos construtivos adotados e os materiais aplicados nos edifícios de Baixa e de Alta Pressão.

Como estes edifícios foram construídos em épocas distintas, eles apresentam diferenças nas soluções construtivas adotadas. As principais diferenças encontram-se ao nível das fundações, das paredes exteriores do piso térreo, da constituição das lajes de piso e da solução de cobertura. As fundações do edifício de BP foram executadas recorrendo a poços/pegões preenchidos com alvenaria, enquanto na AP a solução utilizada recorreu a estacas moldadas de betão armado. As paredes exteriores dos dois edifícios são constituídas, na sua maioria, por alvenaria de tijolo maciço com exceção da parede ao nível do piso térreo da BP, que é constituída por alvenaria de pedra ordinária.

A laje de piso do edifício de AP foi realizada com uma solução de betão armado aplicado sobre perfis metálicos, enquanto na BP, a laje é uma solução mista de tijolos maciços, dispostos em forma de arco, e perfis em ferro com forma em “I”. Outra característica diferenciadora destes edifícios é o facto da cobertura do edifício da BP ter sido realizada com uma solução de telha marselha assente sobre uma estrutura metálica triangulada, enquanto a cobertura do edifício de AP é em terraço.

No que respeita às intervenções a que estes edifícios foram submetidos ao longo do tempo, a documentação existente é diminuta. No entanto, a observação visual dos edifícios permite identificar uma grande variabilidade de materiais aplicados nas suas fachadas, nomeadamente tijolos e argamassas, o que indicia que eles foram alvo de diversas intervenções localizadas.

Relativamente às duas intervenções realizadas mais recentemente existe alguma documentação. Estas intervenções foram realizadas com a Central a funcionar apenas como

Museu da eletricidade. Estas intervenções foram realizadas em 2003, pela Mota- Engil e que se estendeu até 2006, e a mais recente, a intervenção de 2011 a 2012 foi realizada pela empresa STB. A primeira teve como principal objetivo proceder à demolição e reconstrução integral da laje de piso do edifício da BP bem como algumas reparações em zonas localizadas. A última intervenção realizada teve como principal objetivo eliminar a ocorrência de infiltrações no Museu.

Como principais anomalias, apresentadas ao longo deste trabalho, detetadas antes desta última grande intervenção, destaca-se as fissuras/fendas dispostas verticalmente nas fachadas localizadas na proximidade dos montantes da estrutura metálica. Um dos fatores muito frequentemente referidos como sendo a principal causa destas fendas/fissuras, necessitando porém de uma perfeita validação, é o facto de, no interior destes panos existirem elementos metálicos que registam o desenvolvimento de processos de corrosão avançado, os quais originam uma ação expansiva e, deste modo, contribuem para o aparecimento de tensões internas de tração nos elementos de alvenaria.

Outra anomalia importante que se registava nas fachadas correspondia à existência de tijolos muito degradados, com fraturas, descasques e desagregações que permitiam, em conjunto com a falta de coesão e em alguns casos a ausência de argamassa nas juntas, que a água percolasse para o interior das paredes e do edifício acelerando o desenvolvimento dos processos de corrosão dos perfis metálicos.

A utilização inadequada de materiais, como a aplicação conjunta de perfis metálicos no interior das paredes com recurso a argamassas cimentícias demasiado rígidas, utilizados para efeito de reforço da fixação dos janelões metálicos na BP, aplicados anteriormente, pode ter agravado esse fenómeno de degradação e fissuração dos panos de alvenaria por incompatibilidade das características dos materiais. A dificuldade na seleção dos materiais a aplicar nas várias ações de substituição de tijolos, nomeadamente no que se refere a argamassas e tijolos, compatíveis entre si e com a alvenaria adjacente pode ser uma possível causa de degradação.

Os trabalhos principais realizados durante a última intervenção consistiram na consolidação de panos de alvenaria recorrendo ao reforço dos mesmos, na selagem de fissuras e na substituição de tijolos em determinadas zonas das alvenarias.

No âmbito deste trabalho procedeu-se à caracterização de amostras de argamassas e de tijolos pertencentes a algumas das fachadas dos edifícios da Central Tejo, que foram recolhidas durante a intervenção de 2011. O presente estudo também procedeu à caracterização dos tijolos usados nas ações de substituição realizados no âmbito da intervenção de 2011.

A caracterização das amostras de argamassa apontou para que as argamassas pertencentes à fachada Sul da BP apresentem menores valores de porosidade, teor máximo em água e após 48 horas de imersão que a das argamassas da fachada Norte da AP.

A caracterização das amostras de tijolos provenientes das fachadas identificou os tijolos da fachada Poente do edifício de AP e da fachada Sul de edifício de BP como sendo muito semelhantes em termos de cor e características físicas (porosidade, teores em água, massa volúmica e características de secagem).

O tijolo da **BP.S** apresentou um coeficiente de capilaridade inferior ao dos tijolos da fachada Poente do edifício de AP (**AP.P**), muito embora este possua maior permeabilidade ao vapor. Este fenómeno pode dever-se ao facto da amostra proveniente do edifício de BP apresentar uma maior percentagem de poros de dimensão superior o que favorece a permeabilidade ao vapor de água.

A amostra da fachada Poente da Baixa Pressão (**BP.P**) distingue-se das restantes estudadas dado que apresenta maior porosidade, capacidade de absorção de água e permeabilidade ao vapor de água. Em termos de cinética de secagem, esta amostra foi a que revelou tendência para manifestar secagem de forma mais rápida e completa.

Foram utilizados na intervenção de 2011 tijolos de três tipos distintos: o tijolo Português o tijolo Inglês e o tijolo Espanhol. A caracterização realizada aos três tipos de tijolos evidenciou a variabilidade de características do tijolo Inglês, que advém da sua heterogeneidade. Esta heterogeneidade pode estar associada ao seu processo de conformação por via artesanal, o que o distingue dos restantes dois tipos de tijolos.

O tijolo Inglês revelou-se como sendo o mais poroso e ligeiramente mais permeável ao vapor de água. Este tipo de tijolo, apesar de apresentar valores mais elevados de porosidade, manifestou o menor coeficiente de capilaridade, possivelmente devido ao facto do seu espaço poroso ser constituído por poros de maior dimensão favorecendo mais a passagem de vapor de água do que propriamente a água líquida. Outro fator que pode estar na origem desta

ocorrência é o facto do tijolo Inglês apresentar no seu interior uma porosidade fechada ou pouco interconectada.

Em termos de absorção de água por capilaridade, o tijolo Português foi o que revelou maior capacidade de absorção, seguindo-se o Espanhol e o Inglês, por esta ordem. Todos os tijolos revelaram maior capacidade de absorção segundo a face de assentamento. A caracterização da absorção de água por capilaridade do tijolo Inglês originou a mobilização de sais solúveis, que foram identificados devido à presença de eflorescências.

Comparando a cinética de secagem nos provetes provenientes dos tijolos Português e Inglês, é possível concluir que o tijolo Português é o que apresenta uma secagem mais rápida. O ensaio de secagem quando realizado nos tijolos inteiros apresentou índices de secagem muito distintos dos obtidos nos provetes, devido à sua dificuldade em secarem, sendo que o tijolo que apresentou um IS mais baixo foi o Português seguindo-se o Espanhol e o Inglês.

De um modo geral, comparando as características das amostras de tijolos das fachadas e dos tijolos utilizados nas substituições, é possível afirmar que os tijolos das fachadas são mais porosos, possuem maior permeabilidade ao vapor de água e maior capacidade de absorção do que os tijolos aplicados na intervenção de 2011.

Os tijolos provenientes das fachadas revelaram maior facilidade e capacidade de secagem que os tijolos de substituição. Em termos de massa volúmica real, os tijolos das fachadas e os de substituição revelaram valores compreendidos entre 2600 e 2700kg/m³.

As substituições de tijolos realizadas na fachada Poente do edifício de BP foram realizadas com tijolos dos tipos Português e Inglês. Nesta fachada, as características do tijolo Português revelaram-se mais próximas do material da fachada do que as características do tijolo Inglês, no que se refere a massa volúmica real, absorção de água por capilaridade e características de secagem. Em termos colorimétricos o tijolo Inglês revelou-se com maior semelhança aos tijolos pré-existentes.

Na fachada Sul do edifício de BP, as substituições de tijolo realizadas recorreram apenas ao tijolo Português. As características do tijolo Português em termos de absorção de água por capilaridade e cinética de secagem revelaram-se semelhantes aos tijolos pré-existentes.

Na fachada Poente do edifício de AP, as substituições realizadas recorreram à utilização de tijolos do tipo Português e Espanhol. Com exceção da cor, o tijolo Português foi aquele que

revelou maior semelhança de características com os tijolos pré-existent, nomeadamente em termos de absorção de água por capilaridade e cinética de secagem.

7.2 – Proposta para desenvolvimentos futuros

A realização deste trabalho permitiu identificar algumas propostas para desenvolvimentos futuros, tais como:

- Aprofundar a análise das características dos materiais que constituem as fachadas dos edifícios de Baixa e Alta Pressão e dos materiais utilizados nas intervenções recentes, nomeadamente em termos químicos, mecânicos e do seu espaço poroso;
- Aprofundar a análise da influência das características dos materiais constituintes das fachadas dos edifícios da BP e AP com as anomalias presentes;
- Desenvolvimento de campanhas de inspeção periódicas a estes edifícios bem como os restantes do conjunto Central Tejo, de modo a registar as suas anomalias e principais ocorrências;
- Monitorização das zonas das fachadas que foram submetidas a reforço e à substituição integral dos tijolos em determinadas áreas;
- Monitorização das fissuras seladas superficialmente com resina epóxi, de modo a verificar o seu estado de conservação e se necessário realizar uma nova selagem;
- Aprofundar o estudo de caracterização das argamassas de assentamento presentes nas fachadas de alvenaria dos edifícios que foram objeto de estudo deste trabalho;
- Alargar o estudo desenvolvido no âmbito da presente dissertação aos outros edifícios da Central Tejo.

Referências bibliográficas

Aguiar, José; Cabrita, A. M. Reis; Appleton, João - *Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais, Volume II*. LNEC 1998.

Appleton, João – *VI encontro nacional de estudantes de engenharia civil (ENEEC)*. Abril de 2010.

Bourguignon, Elsa – *Study of deterioration mechanisms and protective treatments for the egyptian limestone of the ayyubid city wall of Cairo*. Master of science. Pennsylvania 2000.

Costa, Dória; Delgado Rodrigues, José – *Medições colorimétricas em rochas heterocromáticas*. Relatório 89/94 – GERO. I&D Geotecnia. LNEC.

Costa, Carla; Santos, João – *Relatório de Inspeção Visual, Procedimentos de reparação e Plano de manutenção*. ISQ. Junho 2010.

EN 1015-18 – *Methods of test mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2002.

Faria, Fernando; Cruz, Luís; Barbosa, Pires - *A central Tejo - A fábrica que electrificou Lisboa*. Fundação EDP. Editora Bizancio 2007.

Fernandes, Francisco M.; Lourenço, Paulo B. – *Estado da arte sobre tijolos antigos*. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional, 17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal 2007.

Ferreira Pinto, A. P.; Gomes, Augusto – *Caraterização de betões no estado endurecido para por recurso a ensaios destrutivos e não destrutivos (Módulo 5)*. Aulas de Laboratório de Materiais de construção II. 2009.

Ferreira Pinto, A. P.; Gomes, Augusto – *Materiais cerâmicos*. Apontamentos das aulas teóricas de Materiais de Construção I. 2010.

Ferreira Pinto, Ana Paula – *Conservação de pedras carbonatadas: estudo e selecção de tratamentos*. Tese apresentada para a obtenção do título de doutor em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2002.

Gomes, Augusto; Pinto, Ana Paula – *Argamassas*. Sebenta da disciplina de Materiais de Construção I, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa 2009.

Hall, Christopher; Hoff, William – *Water transport in brick, stone and concrete*. Spon Press. 2002.

Hornbostel, Caleb – *Construction Materials Types, uses and applications*. 2nd edition. USA 1991.

ICOMOS - *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do Património Arquitectónico*. ICOMOS (Comité Científico Internacional para a Análise e Restauro de Estruturas do Património Arquitectónico). Portugal 2003.

Jastrzebski, Zbigniew D – *The nature and properties of engineering materials, third edition* – Wiley, New York 1987.

Kong, Mario – *Arquitectura Industrial – uma abordagem – Central Tejo*. Volume I. Dissertação de mestrado em reabilitação da arquitectura e núcleos urbanos. Faculdade de arquitectura – Universidade Técnica de Lisboa. Março 2001.

Kong, Mario – *Arquitectura Industrial – uma abordagem – Central Tejo*. Volume III. Dissertação de mestrado em reabilitação da arquitectura e núcleos urbanos. Faculdade de arquitectura – Universidade Técnica de Lisboa. Março 2001.

LNEC – *Caraterização duma argamassa de assentamento de alvenaria em tijolo do Museu da Eletricidade em Lisboa*. Trabalho realizado para Gil Alves da Silva, Lda. LNEC. Dezembro 2001.

Marques, Ana R. – *Argamassas de cal aérea com adição de cinzas de casca de arroz. Influência das condições de cura*. Tese apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Dezembro de 2010.

Martins, Bernardo – *Nota 1 – Conservação Central Tejo Museu da Eletricidade*. 2012.

Martins, Bernardo – *Relatório de Actividades Processo de Caraterização e Conservação - Edifício Central Tejo - Museu Electricidade*. 2012.

Nogueira, Rita – *Determinação da absorção de água sob baixa pressão – Método do cachimbo*. Aulas de Laboratório de Materiais de Proteção Reparação e Reforço. Grupo de Materiais de Construção IST. 2012.

Paulo, Cláudio; Mahumane, Gilberto – *Meteorologia geral*. 2011.

RILEM Test No. I.1 – Porosity accessible to water. RILEM 25-PEM 1980 – Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’efficacité des methods de traitement. Matériaux et Construction, Vol.13, N°75.

RILEM Test No. II.2 – Coefficient of water vapour conductivity. RILEM 25-PEM 1980 – Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’efficacité des methods de traitement. Matériaux et Construction, Vol.13, N°75.

RILEM Test No. II.4 – Water absorption under low pressure (pipe method). RILEM 25-PEM 1980 – Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’efficacité des methods de traitement. Matériaux et Construction, Vol.13, N°75.

RILEM Test No. II.5 - Evaporation Curve. RILEM 25-PEM 1980 – Recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’efficacité des methods de traitement. Matériaux et Construction, Vol.13, N°75.

Santos, Fernando; Faria, Fernando; Cruz, Luís – *Museu da electricidade – Um museu com história, um museu para o futuro*. Artigo da revista INGENIUM da Ordem dos Engenheiros. Março/Abril 2006.

Santos, Maria I. – *Argamassas de revestimento para paredes de edifícios antigos com incorporação de adições pozolânicas*. Tese apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Novembro de 2009.

STB – *Procedimentos de trabalho adotados*. STB – Reabilitação do Património Edificado, Lda. 2012.

Veiga, M. Rosário; Magalhães, Ana Cristian; Bokan-Bosilikov, Violeta – *Capillarity tests on historic mortar samples extracted from site methodology and compared results*. 13th International Brick and Block Masonry Conference. Amsterdam, July 2004.

Sites consultados:

- [1]<http://goo.gl/maps/qmbrK> (5-9-2013)
- [2]<http://www.visitlisboa.com/Conteudos/Entidades/Museus/Museu-da-Electricidade.aspx> (3-1-2013)
- [3]<http://www.franki.com.br/estacafranki.html> (19-3-2013)
- [4]<http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=401> (30-3-2013)
- [5]<http://www.ceramicatorreense.pt/pt/alvenarias/> (6-9-2013)
- [6]<http://www.isq.pt/project.aspx?menuid=1717&eid=20715&bl=1> (5-12-2012)
- [7]<http://www.isq.pt/project.aspx?menuid=1717&eid=20683&bl=1> (5-12-2012)
- [8]<http://www.helifix.co.uk/> (3-1-2013)
- [9]<http://pt.wikipedia.org/wiki/Coque> (30-3-2013)
- [10]<http://www.yorkhandmade.co.uk/> (28-7-2013)
- [11]http://pt.wikipedia.org/wiki/Central_Tejo (28-11-2012)
- [12]http://pt.wikipedia.org/wiki/Museu_da_Electricidade (28-11-2012)
- [13]<http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/fundacoes/fundacaoedp/museudaelectricidade/pages/museuelectricidade.aspx> (30-11-2012)
- [14]<http://www.cdme.edp.pt/winlib/> (27-11-2012)
- [15]<http://www.stb.pt/empresa.php?lingua=pt> (3-1-2013)
- [16]<http://www.valegandara.com/produtos/macico.php> (28-07-2013)
- [17]<http://www.ceramica-lapaloma.es/ladrillo-4-caras-vistas-klinker-rojo-bilbao.html> (21-07-2013)

Anexos

Anexo A – Fichas técnicas

Anexo B – Absorção capilar. Alturas da franja líquida.

Anexo A – Fichas técnicas

- Resina epóxi SIKADUR 32N
- Tijolo Português
- Tijolo Espanhol
- Tijolo Inglês

Product Data Sheet
Edition 05/07/2007
Identification no:
02 04 02 02 05
Sikadur®-32 N

Sikadur®-32 N

Wet to dry epoxy resin bonding agent

Product Description

Sikadur®-32 N is a two component solvent free, moisture insensitive, medium viscosity, structural epoxy bonding agent. Complies with ASTM C 881-78 type II, Grade 2 Class B & C.

Uses

Sikadur®-32 N is used for bonding fresh concrete to an existing concrete or mortar substrate. It is also suitable for vertical anchor bolt grouting.

Characteristics / Advantages

- Easy to mix and apply
- Solvent-free
- Components of different colours to ensure thorough mixing
- Excellent adhesion to concrete and a wide variety of other substrates
- Tensile strength far greater than concrete
- Can be applied to damp substrates

Product Data

Form

Appearance / Colours

Part A: White
Part B: Grey
Mixed: Light Grey

Packaging

Pre batched
Part A+B 1litre and 5 litre kits

Storage

Storage Conditions / Shelf-Life

12 months from date of production if stored properly in unopened, undamaged and sealed original packaging, in dry conditions at temperatures between +5°C and +30°C.

Technical Data

Chemical Base

Solvent free two-part epoxy resin.

Density

Part A+B mixed: 1,40 kg/litre

Mechanical / Physical Properties

Compressive Strength	60 – 70 N/mm ²
Bond Strength	2.5 – 3.0 N/mm ²
Tensile Strength	18 – 20 N/mm ²

System Information

Application Details

Consumption / Dosage	2 – 4 m ² per litre depending on the porosity of the substrate.
Substrate Preparation	Requirements: Sound, clean, free from oil and grease, old coatings and surface treatments, etc. Pre-treatment for good bond: Concrete, mortar and stone should be thoroughly prepared by high pressure water jetting or mechanical means such as grinding, chiselling, etc. Cracks must be cleaned with compressed air to remove dust.

Application Conditions / Limitations

Substrate Temperature	Min.5°C - Max.30°C
Ambient Temperature	Min.5°C - Max.35°C
Substrate Humidity	Dry or damp (SSD - Saturated Surface Dry: no standing water)
Relative Air Humidity	80 %
Dew Point	Substrate temperature must always be at least 3°C above the dew point.

Application Instructions

Mixing (Ratio/Dosage)	Mix both components thoroughly before use. Pour both components into a suitable, clean mixing container. Mix thoroughly using a slow speed drill (set at 400 - 600 rpm) with a clean, rust free, mixing paddle until the two components are evenly blended to a uniform colour (minimum 3 minutes). Use immediately.
-----------------------	---

Application Method / Tools

For bonding fresh concrete to an existing concrete or mortar substrate.

Apply Sikadur®-32 N to the prepared substrate by brush or roller. On damp surfaces ensure that it is worked well into the substrate. Place the fresh concrete while the Sikadur®-32 N is still tacky.

If the Sikadur®-32 N loses tackiness and becomes glossy, recoat with additional material and continue.

Calculation of Grout Quantities

$$\begin{aligned} & \text{Volume of Bolt Hole} \\ \text{Less: } & \text{Volume of Embedded Bolt} \\ = & \text{Volume of Sikadur®-32 N} \end{aligned}$$

$$\text{Volume of Sikadur®-32 N} = (\pi r^2 H - \pi r^2 L) \times 1000$$

Where H = Depth of Hole (in metres)

L = Length of Embedded Bolt (in metres)

	Vertical anchor bolt grouting: The correct quantity of Sikadur®-32 N required to completely fill the annular gap between the bolt and the sides of the hole should be determined before installation is attempted. (In most cases, the bolthole will be no greater than 5 mm larger in diameter than the bolt). Place the pre-determined quantity of Sikadur®-32 N directly into the bolthole. Lower the anchor bolt into the hole and press it gently to the bottom, displacing the Sikadur®-32 N and filling the annulus around the bolt. A slight agitation of the bolt will assist the Sikadur®-32 N to fill the annulus evenly. Centre or locate the bolt in the desired position, using shims if necessary, and then leave undisturbed until the Sikadur®-32 N is tack free. If the Sikadur®-32 N does not fill the annular gap evenly during bolt insertion, withdraw the bolt, insert additional Sikadur®-32 N, and re-insert the bolt. Do not attempt to add additional Sikadur®-32 N with the bolt in place.
Cleaning of Tools	Remove uncured Sikadur®-32 N from tools and equipment with Kwiklean water-soluble solvent immediately after use. Cured material can only be removed mechanically.
Pot Life	Pot Life at 20°C - 25 minutes.
Open Time	Open Time at 20°C and 1mm thickness – 1.5 hours. Open Time at 30°C and 1mm thickness – 1 hour.
Waiting Time / Overcoatability	
Notes on Application / Limits	Cured Sikadur®-32 N is a vapour barrier. Concrete should be a minimum of 28 days old. The normal precautions pertaining to dew point should be observed.
Local Restrictions	Please note that as a result of specific local regulations the performances of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.
Health and Safety Information	
Protective Measures	Use personal protective clothing and avoid contact with eyes and skin. Change soiled work clothes and wash hands before breaks and after finishing work. Allow for sufficient ventilation when applying. Local regulations as well as health and safety advice on packaging labels must be observed.
Ecology	
Transportation Class	
Important Notes	Residues of material must be removed according to local regulations. Fully cured material can be disposed of as household waste under agreement with the responsible local authorities. Detailed health and safety information as well as detailed precautionary measures e.g. physical, toxicological and ecological data can be obtained from the Material Safety Data Sheet.
Toxicity	

Legal Notes

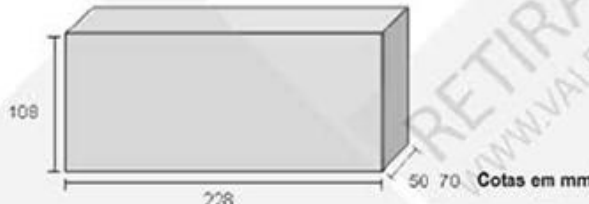
The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request or access on the Internet under www.sika.co.za.



Sika South Africa (Pty) Ltd
9 Hocking Place,
Westmead, 3608
South Africa

E-mail: headoffice@za.sika.com
Phone +27 31 782 6500
Telefax +27 31 700 1760
www.sika.co.za



FICHA TÉCNICA PARA PEÇA DE ARGILA COZIDA HD (TIJOLOS CERÁMICOS MACIÇOS)					
Nº FICHA TÉCNICA: 5020113		Data: 02-01-2013			
FABRICANTE: Cerâmica Vale da Gândara, S.A					
LOCALIDADE: Gândara, Mortágua (Portugal)					
					
Designação do Modelo		Peça de argila cozida 228 x 108 x Espessura; Categoria II-HD NP EN 771-1			
Designação Comercial		Tijolo Maciço			
Cor		Vermelho Vulcânico			
Cor da Pasta		Vermelha			
Espessura (mm)		50, 70			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			Método de ensaio	Valores Declarados pelo fabricante	Valores exigidos pela Norma
ESFOLIAÇÕES E ESMILHADOS			Visual	Nenhuma	Nenhuma
PEÇAS FISSURADAS			Visual	≤ 1 peça de cada 6	≤ 1 peça de cada 6
PEÇAS ESMILHADAS			UNE 67039 EX	≤ 1 peça de cada 6	≤ 1 peça de cada 6
7 mm ≤ DIMENSÃO INDIVIDUAL MÉDIA ≤ 15 mm				0	0
DIMENSÃO INDIVIDUAL MÉDIA > 15 ¹⁾ mm				T2	T2
VALOR MÉDIO			UNE-EN 772-16	R2	R2
AMPLITUDE				Não aplicável	Não aplicável
PAREDE EXTERIOR				Não aplicável	Não aplicável
PAREDE EXTERIOR NÃO VISTA			UNE-EN 772-16	Não aplicável	Não aplicável
PAREDE INTERIOR				Não aplicável	Não aplicável
PLANEZA DAS FACES DOS LEITOS				Não aplicável	Não aplicável
DIAGONAL				≤ 3 mm	≤ 3 mm
L > 300 mm			UNE-EN 772-20	≤ 2 mm	≤ 2 mm
300 ≥ L ≥ 250					
L ≤ 250 mm					
PARALELISMO DAS FACES DOS LEITOS			UNE-EN 772-16	Não aplicável	Não aplicável
PERCENTAGEM DE FURAÇÃO			(%)	UNE-EN 772-3	≤ 25%
					Perfurados ≤ 45%
					Maciços ≤ 25%
ABSORÇÃO DE ÁGUA			(%)	Anexo C UNE-EN 771-1	≤ 8%
CORTE POR CAPILARIDADE			(%)	UNE-EN 772-7	Não aplicável
TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO DE ÁGUA			Kg/(m² x min)	UNE-EN 772-11	≤ 0,9 Kg/(m² x min)
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA NORMALIZADA A COMPRESSÃO			Face de assentamento (N/mm²)	UNE-EN 772-1	≥ 45,0 N/mm²
MASSA			(g)	Anexo D RP 34.01	≥ 2150g
					≥ 1550g
DENSIDADE			ABSOLUTA (Kg/m³)	UNE-EN 772-13	≥ 2000 Kg/m³
			APARENTE (Kg/m³)		≥ 1900 Kg/m³
			TOLERANCIA (%)		≤ 10%
EFLORESCÊNCIAS			UNE 67029 EX	Sem eflorescências	Sem eflorescências / ligeiramente eflorescido
DURABILIDADE CONTRA O GELO/DEGELO			Camara manual ☐	UNE 67028 EX	F2
			Camara automática ☒		F2
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (λ _{ad}) ²⁾			(W/mK)	UNE-EN 1745	Valor declarado: 0,69
					valor tabelado ☒
					elementos finitos ☐
					calculo simplificado ☐
					valor de ensaio ☐
PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (μ)			Anexo A UNE-EN 1745	50/100	
TEOR EM SAIS SOLÚVEIS ACTIVOS			UNE-EN 772-5	S ₀ ☐	S ₁ ☐ S ₂ ☒
EXPANSÃO POR HUMIDADE			UNE 67036	≤ 0,2 mm/m	
REACÇÃO AO FOGO			% Matéria orgânica	UNE-EN 13501-1	CLASSE A1
			> 1% ☐		
			≤ 1% ☒		
ADERÊNCIA			Anexo C UNE-EN 998-2	0,15 N/mm² com argamassa de uso geral e ligeiro	
				0,3 N/mm² com argamassa de juntas e camada fina	
COLORAÇÃO SUPERFICIAL			Anexo D RP 34.01	SIM ☐	NÃO ☒
HIDROFUGAÇÃO				SIM ☐	NÃO ☒
PEÇAS ESPECIAIS				SIM ☐	NÃO ☒
OBSERVAÇÕES:					

¹⁾ Tijolo com dimensão média superior a 25 mm.

²⁾ Os tijolos, rugosos e peças especiais estão isentos destas especificações.

³⁾ Quando o dado declarado não se refere a nenhuma das opções fixadas na norma UNE-EN 1745 deverá constar nas observações o método usado para a sua determinação

Certificado AENOR de Producto

Materiales de arcilla cocida para construcción



034/000944

AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, certifica que la organización

GRES ACUEDUCTO S.A.

con domicilio social en: CR VEGAS DE MATUTE, S/N 40422 OTERO DE HERREROS (Segovia - España)

suministra: Piezas de arcilla cocida HD categoría I para fábricas vistas

conformes con: UNE-EN 771-1:2011 (EN 771-1:2011)

Nº Ficha Técnica: 0910102 (ver anexo)

elaboradas en: CR VEGAS DE MATUTE, S/N 40422 OTERO DE HERREROS (Segovia - España)

Sistema de certificación: Este certificado se ha concedido de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Particular de Certificación de AENOR RP 34.01

Este certificado anula y sustituye al 034/000944, de fecha 2011-09-14

Fecha de emisión: 2009-05-20

Fecha de modificación: 2012-12-05

Fecha de expiración: 2017-12-05

AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación

Avelino BRITO MARQUINA
Director General de AENOR

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6. 28004 Madrid, España
Tel. 902 102 201 - www.aenor.es

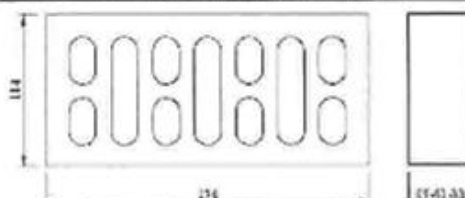
Entidad de certificación de producto acreditada por ENAC con nº 01/C-PR002.034

PIEZAS DE ARCILLA COCIDA HD CATEGORIA I PARA FABRICAS VISTAS

N° FICHA TECNICA: 0910102

FABRICANTE:	GRES ACUEDUCTO S.A.	 AENOR Producto Certificado
LOCALIDAD:	Otero de Herberos	
DESIGNACION DEL MODELO:	PIEZA DE ARCILLA COCIDA HD GRES R-20 DE 236 x 114 x GRUESO	
GRUESOS (mm):	33 - 51 - 65	
NOMBRE COMERCIAL:	ASTURIAS, BILBAO, GRANADA, INGLES, QUIRÓN, LAREDO, MIERES, SUANCES Y OROTAVA.	
COLORACIONES EN MASA:	ROJO	

ESQUEMA DEL MODELO



CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA PIEZA

Característica			Método de comprobación	Valor garantizado por el fabricante		Valor exigido por AENOR	
Aspecto y estructura	exfoliaciones / laminaciones		Visual	Ninguna pieza exfoliada / laminada			
	piezas fisuradas			≤ 1 pieza fisurada		≤ 1 pieza fisurada	
	piezas desmenuzadas			≤ 1 pieza con d.l.m. entre 7 y 15 mm		≤ 1 pieza con d.l.m. entre 7 y 15 mm	
				Ninguna pieza con desmenuzados con dimensión individual media > 15 mm			
Tolerancias dimensionales (mm)	Valor medio	largo (l)	UNE-EN 772-16	T2	± 4	T2	± 4
		ancho (a)			± 3		± 3
		grueso (h)			0,25 x hi		max de 0,25 x hi / o 2
	Reconido	largo (l)		± 5	R2	± 5	
		ancho (a)		± 3		± 3	
		grueso (h)		0,3 x hi		0,3 x hi	
Espesor de pared (mm)	pared exterior vista		≥ 15,0		≥ 15,0		
	pared exterior no vista		≥ 10,0		≥ 10,0		
	pared inferior		≥ 5,0		≥ 5,0		
Paralelismo de caras (Ortogonalidad) (mm)			≤ 2,0				
Planicidad de las caras (mm)	Diagonales	l > 300 mm	UNE-EN 772-20	N/A		N/A	
		300 ≥ l ≥ 250 mm		≤ 3		≤ 3	
		l ≤ 250 mm		≤ 2		≤ 2	
Porcentaje de huecos (%)	Valor declarado (%)		UNE-EN 772-3	41		≤ 45	
	Tolerancia (%)			Min: 37 - Máx: 45			
Volumen del mayor hueco (% del bruto)			UNE-EN 772-9	≤ 12,5		≤ 12,5	
Espesor combinado de tabiquillos (%)			UNE-EN 772-16	≥ 20		≥ 20	
Absorción de agua en elementos exteriores (%)			UNE-EN 771-21	≤ 6		≤ 6	
Absorción en piezas barrera anticapilaridad (%)			UNE-EN 772-7	N/A			
Succión (Kg/m² x min)			UNE-EN 772-11	≤ 0,8			
Resistencia característica normalizada (N/mm²)			UNE-EN 772-1	≥ 20,0 Cara de apoyo: Tabla		≥ 10,0	
Densidad	Absoluta (Kg/m³)		UNE-EN 772-13	2.150			
	Aparente (Kg/m³)			1.250			
	Tolerancia (%)			±			
Masa (g)	Reducción por densidad:	NO	Anexo D RP 34.01	Valor mínimo por grueso garantizado: 1.100- 1.600- 2.020		Valor mínimo por grueso: 950- 1.465- 1.865	
Eflorescencias			UNE 67029 EX	No eflorescido		Ligeramente eflorescido	
Durabilidad (Resistencia a la helada)			UNE 67028 EX	F2 /25 ciclos			
Propiedades térmicas (Método)			Catálogo CTE	Ensayo a realizar en cámara con ventilación forzada			
				Valor tabulado del Catálogo de Elementos Constructivos			
				0,35			
				0,180 - 0,180 - 0,210			
Permeabilidad al vapor de agua - μ			Anexo A UNE-EN 1945	50/100			
Contenido en sales solubles activas			UNE-EN 772-5	52			
Expansión por humedad (mm/m)			UNE 67036	≤ 0,20			
Reacción al fuego		(%materia orgánica < 1 %)	UNE-EN 13501-1	CLASE A1			
Adherencia (N/mm²)			Anexo C UNE-EN 998-2	≥ 0,30		≥ 0,3	
Coloración superficial			Anexo D RP 34.01	NO			
Hidrojugación				NO			
Piezas especiales				SI			

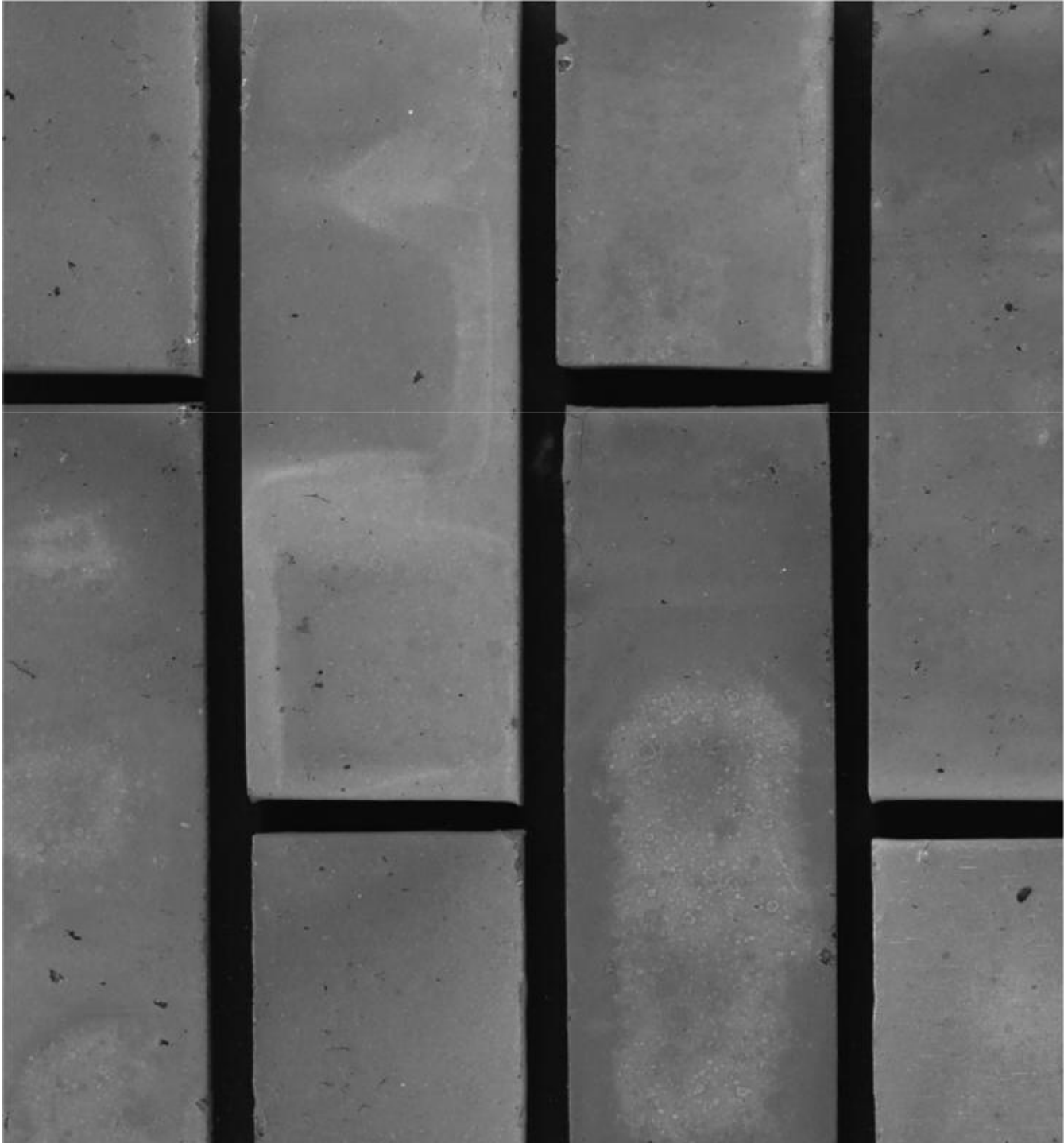
Observaciones:

Se fabrican diversas piezas especiales: Medios Cortos, Medios Largos, Plaquetas, Canalización, Canto Romo, Doble Romo, Bocel, Medio Bocel, Bocel Macizo, Alero, Alero Macizo, Cornisa, Escuadra, Ladrillo Curvo, Jamba, Albardillas, etc...

Fecha de emisión: 2012-12-05

Anula y sustituye a la de fecha: 2011-09-14 Entidad acreditada por ENAC n° 01/C-PR002.034

R-DTC-119.01



Tollerton Blend

Brick Sizes Available

50 x 102.5 x 215mm

65 x 102.5 x 215mm

73 x 102.5 x 215mm

Bespoke sizes to order

Durability Designation

FL/S2 (FL)

Compressive Strength

Min 37N/mm³

Water Absorption

Max 16%

Average Weight of Pack

1.1 tonnes

Pack Sizes

50mm – 600 bricks per pack

65mm – 500 bricks per pack

73mm – 430 bricks per pack



Forest Lane, Aine, York YO61 1TU

Tel: 01347 838881 Fax: 01347 838885

Southern Sales Office: 01909 540680

Fax: 01909 540681

www.yorkhandmade.co.uk

email: sale@yorkhandmade.co.uk

*Please note that our products are now also manufactured to comply with BS EN 771-1:2003 and corresponding designations are shown in brackets.
The above details are in accordance with our test results at the time of printing. Please contact this office if you require a copy of our most recent results.*

Anexo B – Absorção capilar. Alturas de franja líquida.

Provetes de tijolo pré-existente (Dimensões: 3x3x6,5 [cm])

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	AP.P_4.5		AP.P_4.6		AP.P_4.7		AP.P_4.8	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
Alta Pressão - Poente	0	0,0	0	126,37	0	122,51	0	119,26	0	122,75
	300	17,3	12	128,61	14	125,18	12	120,74	14	124,67
	600	24,5	17	129,65	19	126,30	18	121,58	18	125,70
	900	30,0	23	130,65	25	127,33	22	122,34	21	126,54
	1200	34,6	25	131,46	30	128,20	25	122,96	26	127,24
	1800	42,4	33	132,73	32	129,48	29	123,93	31	128,34
	3600	60,0	45	135,53	51	132,22	41	126,08	44	130,84
	5400	73,5	55	137,87	60	134,48	52	127,89	54	132,91
	7200	84,9	65	139,78	63	136,24	58	129,41	63	134,64
	10800	103,9	-	141,35	-	136,94	-	132,07	-	137,06
	14400	120,0	-	141,45	-	137,02	-	133,15	-	137,33
	18000	134,2	-	141,51	-	137,07	-	133,24	-	137,39
	86400	293,9	-	141,85	-	137,43	-	133,55	-	137,75
	172800	415,7	-	142,16	-	137,74	-	133,82	-	138,06
	259200	509,1	-	142,33	-	137,92	-	133,95	-	138,22
	518400	720,0	-	142,76	-	138,33	-	134,32	-	138,60
	604800	777,7	-	142,83	-	138,38	-	134,35	-	138,64

(-) Totalidade/difícil leitura.

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	BP.P_1.5		BP.P_1.6		BP.P_1.7	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
Baixa Pressão - Poente	0	0,0	0	104,34	0	85,14	0	102,34
	300	17,3	27	108,70	22	88,40	27	107,47
	600	24,5	38	110,72	33	89,95	37	109,55
	900	30,0	46	112,31	43	91,25	42	111,17
	1200	34,6	52	113,62	50	92,39	51	112,50
	1800	42,4	57	115,34	55	93,99	-	113,75
	3600	60,0	-	116,38	-	95,01	-	114,05
	5400	73,5	-	116,46	-	95,08	-	114,11
	7200	84,9	-	116,52	-	95,14	-	114,17
	10800	103,9	-	116,55	-	95,15	-	114,18
	14400	120,0	-	116,68	-	95,26	-	114,32
	18000	134,2	-	116,77	-	95,36	-	114,42
	86400	293,9	-	117,53	-	96,00	-	115,16
	172800	415,7	-	118,33	-	96,66	-	115,93
	259200	509,1	-	118,60	-	96,86	-	116,16
	518400	720,0	-	119,06	-	97,24	-	116,65
	604800	777,7	-	119,17	-	97,33	-	116,70

(-) Totalidade/difícil leitura.

	<i>Tempo</i> <i>t_i</i> <i>[s]</i>	<i>Tempo</i> <i>t_{0,5}</i> <i>[s^{0,5}]</i>	<i>BP.S_1.5</i>		<i>BP.S_1.6</i>		<i>BP.S_1.7</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>
<i>Baixa Pressão - Sul</i>	0	0,0	0	86,69	0	83,61	0	79,25
	300	17,3	9	87,64	9	84,46	9	80,24
	600	24,5	15	88,25	12	85,03	16	80,89
	900	30,0	16	88,71	15	85,48	20	81,36
	1200	34,6	19	89,08	18	85,82	22	81,67
	1800	42,4	25	89,65	21	86,35	26	82,22
	3600	60,0	33	90,97	31	87,54	36	83,45
	5400	73,5	43	92,12	41	88,58	43	84,50
	7200	84,9	50	93,09	48	89,46	51	85,42
	10800	103,9	64	95,04	60	91,09	61	87,07
	14400	120,0	66	96,49	65	92,51	65	88,35
	18000	134,2	-	96,93	-	93,38	-	88,60
	86400	293,9	-	97,19	-	93,70	-	88,87
	172800	415,7	-	97,39	-	93,89	-	89,07
	259200	509,1	-	97,50	-	94,00	-	89,20
	518400	720,0	-	97,79	-	94,28	-	89,45
	604800	777,7	-	97,82	-	94,30	-	89,46

(-) Totalidade/difícil leitura.

Provetes de tijolo de Substituição (Dimensões: 1,5x1,5x1,5 [cm])

	<i>Tempo</i> <i>t_i</i> <i>[s]</i>	<i>Tempo</i> <i>t_{0,5}</i> <i>[s^{0,5}]</i>	<i>P4_3</i>		<i>P5_2</i>		<i>P5_8</i>		<i>P6_2</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> <i>[mm]</i>	<i>Massa</i> <i>m_i</i> <i>[g]</i>
<i>Tijolo Português</i>	0	0,0	0	35,41	0	39,01	0	34,28	0	33,27
	300	17,3	10	35,74	11	39,44	8	34,59	12	33,64
	600	24,5	11	35,92	15	39,68	12	34,80	16	33,85
	900	30,0	17	36,06	20	39,87	15	34,95	19	33,99
	1200	34,6	22	36,17	22	40,03	18	35,09	24	34,12
	1800	42,4	27	36,34	24	40,26	24	35,30	27	34,31
	3600	60,0	39	36,74	42	40,80	41	35,75	43	34,75
	5400	73,5	42	37,04	52	41,20	51	36,08	54	35,07
	7200	84,9	58	37,28	61	41,54	60	36,36	62	35,34
	10800	103,9	68	37,73	68	41,98	68	36,81	68	35,76
	14400	120,0	-	37,91	-	42,02	-	36,88	-	35,81
	18000	134,2	-	37,93	-	42,04	-	36,90	-	35,83
	86400	293,9	-	38,09	-	42,17	-	37,06	-	35,96
	172800	415,7	-	38,20	-	42,32	-	37,18	-	36,08
	259200	509,1	-	38,27	-	42,37	-	37,24	-	36,13
	518400	720,0	-	38,43	-	42,57	-	37,44	-	36,30
	604800	777,7	-	38,46	-	42,59	-	37,46	-	36,32
	777600	881,8	-	38,51	-	42,65	-	37,53	-	36,38
	864000	929,5	-	38,53	-	42,67	-	37,55	-	36,40

(-) Totalidade/difícil leitura.

			I4_3		I5_1		I5_3		I6_2		I6_3	
	Tempo t_i [s]	Tempo $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]
Tijolo Inglês	0	0,0	0	26,88	0	30,24	0	35,98	0	28,43	0	34,06
	300	17,3	7	27,23	8	30,55	5	36,22	5	28,70	6	34,36
	600	24,5	10	27,40	9	30,70	7	36,33	7	28,80	6	34,47
	900	30,0	12	27,51	11	30,80	8	36,41	8	28,86	9	34,54
	1200	34,6	14	27,61	15	30,89	8	36,48	8	28,92	10	34,60
	1800	42,4	15	27,74	17	31,00	10	36,57	12	28,99	12	34,69
	3600	60,0	16	28,02	21	31,24	13	36,78	15	29,17	13	34,89
	5400	73,5	22	28,24	21	31,43	16	36,96	16	29,30	16	35,04
	7200	84,9	24	28,43	28	31,59	18	37,11	18	29,41	25	35,17
	10800	103,9	28	28,74	35	31,85	19	37,34	26	29,59	28	35,38
	14400	120,0	*	29,00	*	32,07	*	37,54	32	29,74	32	35,56
	18000	134,2	55	29,25	*	32,28	*	37,73	35	29,88	32	35,72
	86400	293,9	-	29,95	-	33,44	-	39,33	-	31,12	-	37,28
	172800	415,7	-	30,04	-	33,54	-	39,45	-	31,24	-	37,42
	259200	509,1	-	30,09	-	33,60	-	39,51	-	31,27	-	37,46
	518400	720,0	-	30,23	-	33,74	-	39,74	-	31,38	-	37,60
	604800	777,7	-	30,28	-	33,82	-	39,77	-	31,47	-	37,70
	777600	881,8	-	30,33	-	33,88	-	39,81	-	31,53	-	37,77
	864000	929,5	-	30,37	-	33,93	-	39,85	-	31,56	-	37,81

(*) Manchas secas e irregularidade em altura.

			E4_1		E4_2		E5_3		E6_2		E6_3	
	Tempo t_i [s]	Tempo $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]
Tijolo Espanhol	0	0,0	0	34,58	0	37,82	0	43,65	0	36,9	0	38,47
	300	17,3	11	34,87	8	38,06	9	43,91	10	37,18	6	38,74
	600	24,5	15	35,00	12	38,20	12	44,05	12	37,31	9	38,87
	900	30,0	16	35,09	15	38,29	16	44,16	15	37,40	16	38,96
	1200	34,6	21	35,18	19	38,37	19	44,24	21	37,49	19	39,05
	1800	42,4	28	35,31	28	38,49	25	44,37	27	37,60	24	39,18
	3600	60,0	32	35,63	31	38,79	33	44,69	36	37,92	37	39,49
	5400	73,5	34	35,87	38	39,02	40	44,93	47	38,15	46	39,72
	7200	84,9	55	36,07	51	39,22	47	45,13	55	38,34	53	39,92
	10800	103,9	63	36,41	63	39,54	63	45,48	63	38,69	63	40,26
	14400	120,0	-	36,59	-	39,81	-	45,77	-	38,95	-	40,54
	18000	134,2	-	36,62	-	39,92	-	45,93	-	39,04	-	40,66
	86400	293,9	-	36,71	-	40,03	-	46,07	-	39,15	-	40,76
	172800	415,7	-	36,79	-	40,12	-	46,14	-	39,21	-	40,87
	259200	509,1	-	36,81	-	40,14	-	46,18	-	39,26	-	40,89
	518400	720,0	-	36,93	-	40,30	-	46,33	-	39,40	-	41,03
	604800	777,7	-	36,97	-	40,33	-	46,38	-	39,43	-	41,08
	777600	881,8	-	37,03	-	40,38	-	46,44	-	39,49	-	41,12
	864000	929,5	-	37,04	-	40,41	-	46,46	-	39,51	-	41,15

(-) Totalidade/difícil leitura.

Provetes de tijolo de Substituição (Dimensões: 3x3x6,5 [cm])

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>P4_6</i>		<i>P5_4</i>		<i>P5_7</i>		<i>P6_6</i>		<i>P6_7</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Português</i>	0	0,0	0	145,14	0	127,01	0	149,28	0	156,94	0	142,18
	300	17,3	9	146,42	9	128,00	11	150,88	6	158,23	10	143,52
	600	24,5	15	147,32	13	128,65	16	151,82	12	159,01	15	144,40
	900	30,0	20	148,01	18	129,11	22	152,53	18	159,63	20	145,08
	1200	34,6	23	148,62	22	129,57	28	153,17	24	160,19	24	145,64
	1800	42,4	30	149,53	28	130,25	33	154,18	25	161,06	30	146,51
	3600	60,0	45	151,45	43	131,68	46	156,28	37	162,86	41	148,40
	5400	73,5	55	152,98	50	132,82	58	158,00	46	164,37	54	149,97
	7200	84,9	-	154,30	58	133,82	-	159,52	55	165,72	62	151,37
	10800	103,9	-	156,12	-	135,42	-	160,81	-	167,84	-	153,10
	14400	120,0	-	156,37	-	136,05	-	160,89	-	168,62	-	153,28
	18000	134,2	-	156,40	-	136,11	-	160,91	-	168,70	-	153,31
	86400	293,9	-	156,76	-	136,39	-	161,29	-	169,05	-	153,66
	172800	415,7	-	156,98	-	136,59	-	161,53	-	169,28	-	153,88
	432000	657,3	-	157,46	-	136,98	-	162,06	-	169,81	-	154,39
	518400	720,0	-	157,57	-	137,08	-	162,19	-	169,94	-	154,49

(-) Totalidade/difícil leitura.

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>I4_5</i>		<i>I4_6</i>		<i>I5_5</i>		<i>I6_4</i>		<i>I6_6</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Inglês</i>	0	0,0	0	110,20	0	104,48	0	123,73	0	113,41	0	121,74
	300	17,3	3	111,12	4	105,37	7	124,35	7	114,29	6	122,55
	600	24,5	6	111,67	8	105,85	8	124,55	8	114,75	9	122,89
	900	30,0	8	112,11	9	106,23	9	124,71	11	115,06	10	123,13
	1200	34,6	10	112,48	12	106,55	10	124,84	12	115,31	10	123,31
	1800	42,4	11	113,02	14	106,99	10	124,99	14	115,66	13	123,60
	3600	60,0	15	114,01	19	107,78	12	125,31	17	116,35	18	124,18
	5400	73,5	26	114,79	26	108,40	16	125,57	23	116,89	22	124,67
	7200	84,9	30	115,48	29	108,92	16	125,79	27	117,37	26	125,09
	10800	103,9	40	116,56	*	109,75	20	126,16	*	118,15	30	125,83
	14400	120,0	45	117,58	44	110,48	23	126,47	*	118,83	32	126,47
	18000	134,2	50	118,46	47	111,10	25	126,75	40	119,45	35	127,05
	86400	293,9	-	122,88	-	115,45	-	130,65	-	124,83	-	133,26
	172800	415,7	-	123,18	-	115,74	-	133,48	-	125,12	-	133,73
	432000	657,3	-	123,69	-	116,22	-	134,19	-	125,55	-	134,21
	518400	720,0	-	123,83	-	116,34	-	134,28	-	125,62	-	134,31

(*) Manchas secas e irregularidade em altura

Tijolos de Substituição. Direção perpendicular ao plano de assentamento (Dir._Z).

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>P1</i>		<i>P2</i>		<i>P3</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Português</i>	0	0,0	0	3598,2	0	3595,7	0	3621,7
	600	24,5	16	3650,2	16	3649,3	14	3676,6
	1200	34,6	23	3686,0	20	3686,1	20	3710,5
	1800	42,4	31	3716,4	26	3717,0	25	3739,4
	3600	60,0	44	3760,6	40	3761,2	40	3780,8
	5400	73,5	53	3795,2	49	3796,8	48	3815,6
	7200	84,9	60	3828,4	55	3828,9	55	3847,4
	10800	103,9	-	3869,9	-	3867,5	-	3890,2
	18000	134,2	-	3880,8	-	3877,6	-	3909,0
	86400	293,9	-	3884,4	-	3881,2	-	3913,7
	259200	509,1	-	3887,6	-	3884,6	-	3916,7
	345600	587,9	-	3888,9	-	3885,7	-	3917,7

(-) Totalidade/difícil leitura.

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>I1</i>		<i>I2</i>		<i>I3</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Inglês</i>	0	0,0	0	2296,7	0	2296,3	0	2256,1
	600	24,5	3	2320,3	3	2346,4	5	2269,5
	1200	34,6	10	2333,0	8	2377,8	7	2275,3
	1800	42,4	15	2343,2	14	2402,5	12	2280,0
	3600	60,0	22	2356,6	18	2433,4	17	2286,5
	5400	73,5	25	2367,7	26	2453,2	20	2291,6
	7200	84,9	27	2376,9	37	2469,2	25	2295,6
	10800	103,9	34	2390,5	45	2491,5	27	2301,9
	18000	134,2	37	2403,9	53	2510,6	30	2308,2
	86400	293,9	-	2500,4	-	2540,9	-	2381,9
	259200	509,1	-	2504,6	-	2545,6	-	2424,3
	345600	587,9	-	2505,3	-	2547,3	-	2425,6

(-) Totalidade/difícil leitura;

Irregularidade em altura.

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>E1</i>		<i>E2</i>		<i>E3</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Espanhol</i>	0	0,0	0	2371,8	0	2382,6	0	2388,1
	600	24,5	14	2394,9	10	2405,6	12	2413,6
	1200	34,6	20	2407,1	14	2418,9	18	2426,1
	1800	42,4	25	2418,4	24	2427,7	25	2436,7
	3600	60,0	34	2434,9	33	2444,6	34	2453,1
	5400	73,5	45	2449,1	40	2457,0	43	2466,6
	7200	84,9	50	2461,3	49	2468,5	50	2479,1
	10800	103,9	58	2478,9	60	2485,5	53	2497,2
	18000	134,2	-	2495,7	-	2500,6	-	2512,2
	86400	293,9	-	2511,0	-	2517,8	-	2526,4
	259200	509,1	-	2514,4	-	2521,4	-	2529,6
	345600	587,9	-	2515,4	-	2522,3	-	2530,7

(-) Totalidade/difícil leitura.

Tijolos de Substituição. Direção perpendicular à face exposta (Dir._Y).

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>P1</i>		<i>P2</i>		<i>P3</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Português</i>	0	0,0	0	3596,0	0	3593,7	0	3620,1
	600	24,5	11	3621,6	11	3617,3	13	3644,9
	1200	34,6	15	3632,2	14	3628,1	17	3655,0
	1800	42,4	18	3639,2	15	3634,4	20	3660,9
	3600	60,0	26	3659,3	28	3653,7	23	3680,4
	5400	73,5	34	3674,0	32	3667,8	36	3695,0
	7200	84,9	39	3681,8	36	3675,1	42	3703,1
	10800	103,9	48	3702,9	48	3695,0	50	3724,8
	18000	134,2	62	3734,6	61	3725,4	63	3756,1
	86400	293,9	-	3876,2	-	3869,8	-	3903,9
	172800	415,7	-	3884,5	-	3881,5	-	3913,7
	259200	509,1	-	3884,7	-	3881,5	-	3913,4
	345600	587,9	-	3886,1	-	3882,5	-	3915,1
	604800	777,7	-	3893,2	-	3890,0	-	3922,1
	691200	831,4	-	3893,1	-	3889,9	-	3921,5

(-) Totalidade/difícil leitura.

~

	<i>Tempo</i> t_i [s]	<i>Tempo</i> $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	<i>I1</i>		<i>I2</i>		<i>I3</i>	
			<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]	<i>Altura</i> <i>franja liq.</i> [mm]	<i>Massa</i> m_i [g]
<i>Tijolo Inglês</i>	0	0,0	0	2271,1	0	2240,6	0	2235,4
	600	24,5	10	2291,2	8	2259,2	6	2247,5
	1200	34,6	10	2298,3	9	2267,8	8	2250,8
	1800	42,4	12	2302,4	10	2273,2	10	2252,7
	3600	60,0	17	2311,7	12	2288,1	15	2256,1
	5400	73,5	21	2318,8	17	2298,8	18	2258,9
	7200	84,9	24	2322,4	23	2304,3	19	2260,3
	10800	103,9	30	2331,1	23	2319,6	25	2263,7
	18000	134,2	38	2344,5	25	2343,6	29	2269,0
	86400	293,9	-	2404,2	-	2440,4	-	2299,7
	172800	415,7	-	2441,9	-	2503,3	-	2322,6
	259200	509,1	-	2463,6	-	2533,5	-	2333,7
	345600	587,9	-	2480,1	-	2542,1	-	2342,5
	604800	777,7	-	2504,0	-	2555,0	-	2372,1
	691200	831,4	-	2503,2	-	2555,2	-	2369,5

(-) Totalidade/difícil leitura.

			E1		E2		E3	
	Tempo t_i [s]	Tempo $t_{0,5}$ [s ^{0,5}]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]	Altura franja liq. [mm]	Massa m_i [g]
Tijolo Espanhol	0	0,0	0	2371,1	0	2382,5	0	2387,8
	600	24,5	12	2390,7	12	2399,7	12	2406,6
	1200	34,6	13	2398,3	15	2407,5	16	2415,1
	1800	42,4	18	2402,6	17	2411,4	23	2419,6
	3600	60,0	29	2415,2	28	2423,2	30	2431,1
	5400	73,5	36	2423,0	38	2429,8	39	2436,9
	7200	84,9	42	2426,1	42	2432,7	43	2439,6
	10800	103,9	53	2432,8	52	2439,3	51	2446,2
	18000	134,2	66	2442,6	61	2448,5	66	2456,1
	86400	293,9	-	2483,6	-	2487,3	-	2496,6
	172800	415,7	-	2509,9	-	2514,2	-	2524,5
	259200	509,1	-	2510,1	-	2516,8	-	2526,1
	345600	587,9	-	2511,1	-	2517,3	-	2526,9
	604800	777,7	-	2521,3	-	2526,6	-	2535,6
	691200	831,4	-	2519,4	-	2525,1	-	2534,6

(-) Totalidade/difícil leitura.