

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

**DURABILIDADE DE CIMENTOS-COLA  
EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERENTES A FACHADAS**

Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira e Sá

Licenciada em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
Mestre em Construção de Edifícios

Dissertação realizada sob supervisão de  
Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas,  
do Departamento de Engenharia Civil  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Janeiro de 2005



Aos meus pais



## **AGRADECIMENTOS**

Ao finalizar este trabalho quero manifestar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que ao longo do tempo e a diferentes níveis contribuíram para a sua realização.

Destaco a confiança, o conselho e o incitamento continuamente recebidos do Professor Vasco Peixoto de Freitas, fundamentais à concretização dos objectivos a que me propus.

Quero também salientar a crítica certa e o estímulo, necessários à finalização do presente trabalho, recebidos do Professor Vítor Abrantes, deixando expresso o meu profundo reconhecimento.

O apoio prestado pela WEBER-CIMENFIX, LDA., na pessoa do Eng.º Luís Silva, cuja disponibilidade e dedicação permitiram o desenvolvimento célere do estudo experimental. À ARALAB, LDA., nas pessoas do Dr. Mendes Pereira e do Sr. Pedro Jesus, cuja atenção possibilitou uma rápida adaptação ao equipamento de envelhecimento artificial.

Agradeço a todos os meus colegas de mestrado, em especial, à Eng.ª Marisa Antunes e ao Eng.º Rui Paulo pela amizade e ajuda.

Gostaria ainda de deixar uma palavra de apreço muito especial ao Eng.º António Eduardo Costa, à Eng.ª Isabel Lopes, ao Eng.º Nuno Machado e à Eng.ª Ana Sofia Guimarães, do Laboratório de Física das Construções – LFC, e à D. Lurdes Lopes, ao Rui Cardoso e à Ludovina David, da Secretaria da Secção de Construções Civas, pela colaboração inestimável.

À compreensão de todos os meus colegas e amigos que ao longo deste tempo aceitaram a minha dedicação a este propósito.

Finalmente saliento o carinho e a preocupação da minha família, que possibilitaram a serenidade indispensável à realização deste trabalho.



## RESUMO

Portugal foi o país europeu que, a partir do século XVI, mais utilizou o revestimento cerâmico em fachadas. Actualmente, este tipo de revestimento continua a ser amplamente utilizado, contribuindo para a valorização das edificações, por se esperar deles uma elevada durabilidade, vasta funcionalidade e bom desempenho estético.

Contudo, apesar do grande desenvolvimento da indústria da cerâmica e dos processos de fixação dos ladrilhos cerâmicos, os problemas relacionados com o seu destacamento são hoje uma patologia grave e frequente, registada quer nos primeiros anos de utilização quer após longos períodos de desempenho adequado. Faltam-nos métodos objectivos, capazes de avaliar o desempenho de materiais e componentes da construção ao longo da sua vida útil.

Os sistemas de revestimento cerâmico aderentes ao suporte são compostos basicamente pelos ladrilhos cerâmicos, pelo produto de colagem e pelo produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos. Estes materiais estão sujeitos a variações de temperatura e humidade, à radiação solar e à chuva, especialmente quando aplicados em fachadas. A resposta dos materiais a esses agentes de degradação é denunciada pelo decréscimo do desempenho de algumas das suas características fundamentais.

Com o objectivo de avaliar a influência do envelhecimento no desempenho dos cimentos-cola efectuámos um conjunto de ensaios na câmara de envelhecimento acelerado disponível no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia do Porto – LFC, FEUP.

Estimou-se a durabilidade dos cimentos-cola em função do decréscimo do seu desempenho relativamente à tensão de aderência ao longo de diversos ciclos de envelhecimento artificial acelerado, estabelecendo-se um modelo de previsão da vida útil para este tipo de materiais com base na correlação entre os resultados dos ensaios de curta duração – ensaios de envelhecimento artificial acelerado, e os resultados dos ensaios de longa duração – ensaios de envelhecimento natural.

Palavras-chave: Durabilidade, Cimentos-cola, Revestimento cerâmico aderente, Fachadas, Ensaios de envelhecimento artificial acelerado, Ensaios de Envelhecimento natural.

## **ABSTRACT**

The use of ceramic on external wall tiling systems bedded in mortar or in cement-based adhesives, as long tradition in Portugal. However, in the last few years many pathologies, such as adhesion failure of ceramic wall tiles, appear. One of the fundamental cause is the inadequate selection of the cementitious adhesives.

The performance of the adhesive is usually evaluated in the initial period. The knowledge of adhesives' characteristics at the initial moment is essential for its classification and marking. However, it does not inform us of the performance during its working life. Objective methods which are able to evaluate the building materials and components' performance through its service life are lacking.

This study's main goal is to evaluate the durability of the cementitious adhesives in relation to its decreasing performance towards the tensile adhesion strength and discuss criterion of long-term selection of the most adequate adhesive to apply on external ceramic wall tiling systems.

At Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto's (FEUP) Building Physics Laboratory - LFC, about 40 samples were submitted to more than hundred accelerated aging cycles. A model to predict cementitious adhesives' service life was established through the correlation between artificial accelerated aging tests and natural aging tests.

Keywords: Durability, Cementitious adhesives, Ceramic tile coating, Façades, Artificial accelerated aging tests, Natural aging tests.

## RESUMÉ

Depuis le siècle XVI, Portugal a été le pays européen qui plus a utilisé le revêtement céramique en façades. Actuellement, ce revêtement est encore amplement utilisé, contribuant pour l'évaluation des constructions, pour se souhaiter une durabilité élevée, une vaste fonctionnalité et une bonne performance esthétique.

Cependant, malgré le grand développement de l'industrie de la céramique et des processus de fixation des carreaux céramiques, les problèmes rapportés avec leur détachement sont aujourd'hui une pathologie grave et fréquente, vérifiée soit dans les premières années d'utilisation, soit après de longues périodes de performance appropriée. Ils manquent des méthodes objectives, capables d'évaluer la performance des matériaux et les composantes de la construction au long de sa durée de vie.

Les systèmes de revêtement céramique adhérents au support se composent basiquement par des carreaux céramiques, par des produits de collage et par des produits de remplissage des joints entre des carreaux. Ces matériaux sont sujets à des variations de température et d'humidité, à la radiation solaire et à la pluie, surtout quand appliqués en façades. La réponse des matériaux à ces agents de dégradation est mise en évidence par la diminution de la performance de certaines de leurs caractéristiques fondamentales.

Avec l'objectif d'évaluer l'influence du vieillissement dans la performance du ciment-colle nous avons effectué un ensemble d'essais de vieillissement accéléré dans la chambre du Laboratoire de Physique des Constructions de la Faculté d'Ingénierie de L'Université de Porto - LFC, FEUP.

La durabilité des mortier-colle a été estimée en fonction de la diminution de sa performance à l'égard de la tension d'adhérence au long de divers cycles de vieillissement artificiel accéléré, établissant un modèle de prévision de vie utile pour ce type de matériaux sur base de la corrélation entre les résultats des essais de courte durée - essais de vieillissement artificiel accéléré, et les résultats des essais de longue durée - essais de vieillissement naturel.

Mot-clé: Durabilité, mortier-colle, Revêtement céramique adhérent, Façades, Essais de vieillissement artificiel accéléré, Essais de Vieillissement naturel.



# DURABILIDADE DE CIMENTOS-COLA

## EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERENTES A FACHADAS

### ÍNDICE GERAL

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.2 INTERESSE E OBJECTIVOS DO TRABALHO .....	2
1.3 ESCOLHA DA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DOS CIMENTOS-COLA COMO TEMA .....	4
1.4 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO.....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>7</b>
2 DURABILIDADE.....	7
2.1 DEFINIÇÃO.....	7
2.2 CLASSIFICAÇÃO.....	9
2.3 AVALIAÇÃO .....	11
2.3.1 Funções, Exigências e Critérios.....	11
2.3.2 Métodos de avaliação .....	17
2.4 MECANISMOS E FACTORES DE DEGRADAÇÃO .....	21
2.4.1 Considerações gerais .....	21
2.4.2 O peso próprio e as sobrecargas decorrentes da sua utilização normal..	22
2.4.3 Os choques normais ou excepcionais.....	22
2.4.4 As solicitações higrotérmicas .....	23
2.4.4.1. A acção da temperatura e da radiação solar.....	23
2.4.4.2. A acção da humidade .....	30
2.4.4.3. A acção do vento .....	30
2.5 FIM DA VIDA ÚTIL .....	32

<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>35</b>
3 SISTEMAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO.....	35
3.1 ORIGENS E EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADAS .....	35
3.2 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO .....	38
3.2.1 O sistema de revestimento cerâmico .....	38
3.2.2 Ladrilhos Cerâmicos.....	38
3.2.2.1. <i>Definição</i> .....	38
3.2.2.2. <i>Enquadramento normativo</i> .....	39
3.2.2.3. <i>Características</i> .....	40
3.2.2.4. <i>Ensaios</i> .....	42
3.2.2.5. <i>Matérias-Primas e Processos de Fabrico</i> .....	43
3.2.2.6. <i>Controlo de Qualidade</i> .....	45
3.2.3 Elementos de fixação – Cimentos-cola .....	48
3.2.3.1. <i>Definição</i> .....	48
3.2.3.2. <i>Enquadramento Normativo</i> .....	49
3.2.3.3. <i>Características</i> .....	55
3.2.3.4. <i>Ensaios</i> .....	57
3.2.4 Suporte.....	59
3.2.4.1. <i>Definição</i> .....	59
3.2.4.2. <i>Classificação segundo a sensibilidade à humidade</i> .....	60
3.2.4.3. <i>Controlo de qualidade</i> .....	61
3.3 O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO.....	62
3.3.1 Significado da marcação CE .....	62
3.3.2 Organismos notificados .....	63
3.3.3 Sistemas de comprovação de conformidade.....	64
3.3.4 Marcação CE de cimentos-cola .....	65
3.3.4.1. <i>Decisões da Comissão</i> .....	65
3.3.4.2. <i>Sistema de comprovação da conformidade</i> .....	66
3.3.4.3. <i>Declaração de conformidade</i> .....	66
3.3.5 Importância da marcação CE.....	67
3.4 TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS .....	68
3.4.1 Selecção dos materiais.....	68
3.4.2 Selecção dos equipamentos e ferramentas.....	71
3.4.3 Definição do número e espessura das juntas .....	72
3.4.4 Preparação do suporte.....	74
3.4.5 Aplicação do sistema de revestimento cerâmico.....	75

3.4.5.1.	<i>Execução de tarefas preliminares</i> .....	75
3.4.5.2.	<i>Aplicação do cimento-cola</i> .....	76
3.4.5.3.	<i>Colocação dos ladrilhos cerâmicos</i> .....	77
3.4.5.4.	<i>Execução das juntas</i> .....	77
3.4.5.5.	<i>Limpeza</i> .....	77
3.4.5.6.	<i>Cura</i> .....	78
3.4.6	Seleção do tipo de revestimento cerâmico e método de aplicação .....	78
3.5	PATOLOGIAS .....	80

## **CAPÍTULO 4.....83**

4	ESTUDO LABORATORIAL – ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL .....	83
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	83
4.2	FASE DE <i>TESTE</i> : ENSAIOS DE CURTA DURAÇÃO .....	84
4.2.1	Modelo físico .....	84
4.2.2	Preparação dos provetes .....	90
4.2.2.1.	<i>Condicionamento dos materiais</i> .....	90
4.2.2.2.	<i>Preparação do cimento-cola</i> .....	90
4.2.2.3.	<i>Aplicação do Cimento-cola e colagem dos Ladrilhos</i> .....	91
4.2.3	Designação dos ensaios .....	91
4.2.4	Ensaio de envelhecimento artificial acelerado.....	92
4.2.4.1.	<i>Enquadramento normativo</i> .....	92
4.2.4.2.	<i>Aparelhos e utensílios</i> .....	94
4.2.4.3.	<i>Procedimentos de ensaio</i> .....	96
4.2.4.4.	<i>Registos</i> .....	99
4.2.4.5.	<i>Funcionamento da câmara climática Fitoclima 600 EDTU</i> .....	101
4.2.4.6.	<i>Conclusões parciais dos ensaios de envelhecimento acelerado</i> ..	105
4.2.5	Ensaio de arrancamento por tracção .....	105
4.2.5.1.	<i>Enquadramento normativo</i> .....	105
4.2.5.2.	<i>Aparelhos e utensílios</i> .....	106
4.2.5.3.	<i>Procedimentos de ensaio</i> .....	106
4.2.5.4.	<i>Registos</i> .....	108
4.2.5.5.	<i>Funcionamento do aparelho de medição da aderência</i> .....	108
4.2.5.6.	<i>Conclusões parciais dos ensaios de arrancamento por tracção</i> ..	109
4.3	RESULTADOS GLOBAIS .....	110
4.3.1	Considerações gerais .....	110
4.3.2	Registos .....	110
4.3.3	Previsão do termo de vida útil dos cimentos-cola .....	120
4.4	APRECIACÃO FINAL DOS RESULTADOS .....	122

<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>123</b>
5 ESTUDO <i>IN SITU</i> – ENVELHECIMENTO NATURAL .....	123
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	123
5.2 FASE DE <i>TESTE</i> : ENSAIOS DE LONGA DURAÇÃO.....	124
5.2.1 A estação de envelhecimento natural .....	124
5.2.2 Ensaios na Estação de Envelhecimento Natural.....	127
5.2.2.1. <i>Enquadramento</i> .....	127
5.2.2.2. <i>Aparelhos e utensílios</i> .....	127
5.2.2.3. <i>Procedimentos de ensaio</i> .....	127
5.2.2.4. <i>Registos</i> .....	128
5.2.2.5. <i>Comparação gráfica de resultados</i> .....	129
5.3 SÍNTESE CRÍTICA DOS RESULTADOS .....	133
 <b>CAPÍTULO 6</b> .....	 <b>135</b>
6 CONCLUSÕES.....	135
 <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	 <b>139</b>

# **DURABILIDADE DE CIMENTOS-COLA**

## **EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERENTES A FACHADAS**

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1: Descolamento e destacamento de ladrilhos cerâmicos em paredes de fachadas .....	4
Figura 1.2: Reabilitação pontual de uma fachada: diferença de cor nas peças cerâmicas substituídas .....	4
Figura 2.1: Destacamento de ladrilhos cerâmicos em paredes de fachadas .....	9
Figura 2.2: Método sistemático para a previsão do tempo de vida útil dos materiais e componentes da construção.....	20
Figura 2.3: Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido à diminuição uniforme da temperatura.....	25
Figura 2.4: Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido ao aumento uniforme da temperatura.....	25
Figura 2.5: Temperaturas exteriores máximas, em Portugal (Verão) [124].....	26
Figura 2.6: Temperaturas exteriores mínimas, em Portugal (Inverno) [124].....	27
Figura 2.7: Valores máximos da radiação global incidente sobre superfícies verticais exteriores, em Portugal Continental [124].....	29
Figura 2.8: Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e os mínimos aceitáveis, com identificação daquela que condiciona a vida útil da construção.....	33
Figura 3.1: Rapto das Sabinas no Palácio da Quinta da Bacalhoa – Azeitão [120] .....	36
Figura 3.2: Interior revestido a azulejo no Paço de Sintra – Sintra [120] .....	36
Figura 3.3: Quinta dos Azulejos (à esquerda) e Palácio dos condes de Mesquitela (à direita) – Lisboa [120].....	36
Figura 3.4: Zona da foz do Rio Douro, Passeio Alegre – Porto .....	37
Figura 3.5: Zona da Ribeira – Porto [121] .....	37
Figura 3.6: Faculdade de Letras da Universidade do Porto – FLUP [122].....	38
Figura 3.7: Ilustração esquemática do processo de fabrico – Conformação por prensagem.....	44

Figura 3.8: Ilustração esquemática do processo de fabrico – Conformação por extrusão.....	44
Figura 3.9: Funções dos organismos envolvidos na marcação CE de argamassas.....	65
Figura 3.10: Marcação CE de Cimentos-cola – Sistema 3 .....	66
Figura 3.11: Exemplo de declaração do fabricante de cimentos-cola .....	67
Figura 3.12: Camadas do sistema de revestimento cerâmico aderente e suporte.....	68
Figura 3.13: Procedimentos de selecção e aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas .....	79
Figura 4.1: Condicionamento dos provetes no interior da câmara de envelhecimento acelerado. ....	85
Figura 4.2: Disposição dos ladrilhos cerâmicos sobre a superfície do provete.....	85
Figura 4.3: Esquema dos apoios do aparelho de tracção sobre a superfície do provete .....	86
Figura 4.4: Corte esquemático do provete de ensaio.....	88
Figura 4.5: Componentes do sistema de revestimento cerâmico utilizados na preparação dos provetes de ensaio: placas de betão, cimentos-cola e ladrilhos cerâmicos .....	90
Figura 4.6: Fotografia de um provete do tipo PE0 .....	91
Figura 4.7: Câmara de envelhecimento – Fitoclima 600 EDTU.....	94
Figura 4.8: Painel de comando e interior da Fitoclima 600 EDTU.....	95
Figura 4.9: Representação esquemática da câmara Fitoclima 600 EDTU.....	95
Figura 4.10: Representação esquemática da câmara Fitoclima 600 EDTU .....	96
Figura 4.11: Ciclo programado – 12 horas (720 minutos) .....	99
Figura 4.12: Registo da Humidade e Temperatura entre as 9 horas do dia 30 de Junho de 2004 e as 12 horas do dia 1 de Julho de 2004.....	101
Figura 4.13: Registo de um programa teste.....	102
Figura 4.14: Registo de um programa teste a temperatura constante.....	102
Figura 4.15: Gráfico dos valores programados – 3 ciclos consecutivos .....	103
Figura 4.16: Registo comentado da Humidade Relativa e da Temperatura.....	103
Figura 4.17: Registo comentado da Humidade Relativa e da Temperatura.....	104
Figura 4.18: Aparelho de medição da resistência à tracção. ....	106
Figura 4.19: Cola de alta resistência e pastilha metálica cilíndrica.....	106
Figura 4.20: Colagem das pastilhas metálicas com cola de alta resistência.....	107
Figura 4.21: Ensaio de determinação da resistência à tracção de cimentos-cola – E1 .....	107

Figura 4.22: Gráfico representativo do desfasamento entre as leituras e a força de tracção efectiva.....	109
Figura 4.23: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE0: L0 e C2 .....	112
Figura 4.24: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE1: L1 e C2 .....	112
Figura 4.25: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE2: L1 e C2S .....	113
Figura 4.26: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE3: L2 e C2 .....	113
Figura 4.27: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE4: L2 e C2S .....	113
Figura 4.28: Rotura adesiva na interface entre o cimento-cola e o suporte.....	114
Figura 4.29: Rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola. ....	114
Figura 4.30: Rotura adesiva na interface entre ladrilho cerâmico e a pastilha metálica.....	114
Figura 4.31: Rotura coesiva no seio do cimento-cola. ....	115
Figura 4.32: Rotura coesiva no seio do ladrilho cerâmico. ....	115
Figura 4.33: Rotura coesiva no seio do suporte. ....	115
Figura 4.34: Rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola – Provete PE0.2.....	116
Figura 4.35: Rotura coesiva no seio do suporte – Provete PE4.1.....	116
Figura 4.36: Rotura coesiva no seio do ladrilho cerâmico – Provete PE4.1. ....	116
Figura 4.37: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E0: Cimento-cola C2 e Ladrilho cerâmico L0.....	118
Figura 4.38: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E1: Cimento-cola C2 e Ladrilho cerâmico L1.....	118
Figura 4.39: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E3: Cimento-cola C2 e Ladrilho cerâmico L2.....	119
Figura 4.40: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E2: Cimento-cola C2S e Ladrilho cerâmico L1 .....	119
Figura 4.41: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E4: Cimento-cola classe C2S e Ladrilho cerâmico L2.....	119
Figura 4.42: Previsão do termo de vida útil do cimento-cola C2 – Ensaio E0, E1 e E3.....	121
Figura 4.43: Previsão do termo de vida útil do cimento-cola C2S – Ensaio E2 e E4.....	122
Figura 5.1: Geometria do suporte em betão do sistema de revestimento aderente .....	124
Figura 5.2: Tipo de cimento-cola aplicado em cada parcela do suporte .....	124

Figura 5.3: Representação esquemática da distribuição dos ladrilhos cerâmicos sobre o suporte da estação de envelhecimento natural .....	125
Figura 5.4: Estação de envelhecimento natural – Carregado .....	126
Figura 5.5: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE0.....	130
Figura 5.6: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE1.....	130
Figura 5.7: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE3.....	131
Figura 5.8: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE2.....	132
Figura 5.9: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE4.....	132
Figura 5.10: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – Modelo de Previsão .....	133

# DURABILIDADE DE CIMENTOS-COLA

## EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERENTES A FACHADAS

### ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [18] .....	10
Tabela 2.2: Valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes [15] .....	10
Tabela 2.3: Classificação de revestimentos exteriores de paredes [27] .....	12
Tabela 2.4: Exigências funcionais de revestimentos de paredes .....	14
Tabela 2.5: Valores do coeficiente de dilatação térmica linear - $\alpha_1$ .....	23
Tabela 2.6: Valores do coeficiente de absorção da radiação solar - $\alpha_s$ [8].....	28
Tabela 2.7: Valores máximos da radiação global incidente sobre superfícies verticais exteriores, em Portugal Continental [124] .....	29
Tabela 2.8: Valores máximos da radiação global incidente sobre superfícies inclinadas exteriores, em Portugal Continental [124] .....	29
Tabela 2.9: Valores característicos da pressão dinâmica do vento – W [Pa], segundo o RSA .....	31
Tabela 3.1: Classificação dos ladrilhos cerâmicos segundo a EN 14411 [38] .....	40
Tabela 3.2: Classificação dos ladrilhos cerâmicos – Exemplos .....	40
Tabela 3.3: Características exigidas aos ladrilhos cerâmicos – Normas de ensaio [8] .....	42
Tabela 3.4: Controlo de recepção de matérias-primas [8].....	46
Tabela 3.5: Controlo em diferentes fases do processo de fabrico [8].....	47
Tabela 3.6: Ensaio para o controlo do produto final [8] .....	47
Tabela 3.7: Classes dos adesivos para ladrilhos e pedras naturais segundo a norma EN 12004 [56] .....	49
Tabela 3.8: Classes dos cimentos-cola segundo o <i>Cahier du CSTB 3264</i> .....	51
Tabela 3.9: Enquadramento normativo dos Cimentos-cola. ....	54

Tabela 3.10: Características fundamentais dos cimentos-cola, requisitos e normas de ensaio .....	58
Tabela 3.11: Características opcionais dos cimentos-cola, requisitos e normas de ensaio .....	58
Tabela 3.12: Definição dos suportes em função dos materiais constituintes [8].....	59
Tabela 3.13: Descrição das classes de sensibilidade do suporte S em função da humidade [60].....	61
Tabela 3.14: Sistemas de comprovação de conformidade – Identificação do sistema utilizado na marcação dos Cimentos-cola .....	64
Tabela 3.15: Decisões da EC-DG relativas à certificação de Cimentos-cola.....	65
Tabela 3.16: Classes de cimentos-cola recomendadas para aplicações em fachada [8] .....	69
Tabela 3.17: Diferentes tipos de juntas .....	73
Tabela 3.18: Espessura mínima das juntas de assentamento entre ladrilhos em paredes exteriores [8] .....	73
Tabela 3.19: Juntas de construção – dimensões, posição e construção em paredes exteriores [8].....	74
Tabela 3.20: Descolamento de sistemas de revestimento cerâmico aderentes.....	81
Tabela 4.1: Características dimensionais dos ladrilhos cerâmicos.....	86
Tabela 4.2: Características físicas e químicas dos ladrilhos cerâmicos .....	86
Tabela 4.3: Características fundamentais do cimento-cola C2.....	87
Tabela 4.4: Características fundamentais do cimento-cola C2S .....	87
Tabela 4.5: Designação dos 5 tipos de Provetes de Ensaio .....	88
Tabela 4.6: Designação atribuída aos Provetes Ensaiaados .....	89
Tabela 4.7: Passos de um ciclo completo do ensaio de envelhecimento acelerado. ....	98
Tabela 4.8: Registo do programador <i>Fitoclima HT 8600</i> – Passo 2. ....	100
Tabela 4.9: Resistência à tracção medida e de referência .....	110
Tabela 4.10: Valor médio da Força de Rotura - $F_{médio}$ .....	111
Tabela 4.11: Tensão de aderência $\sigma_a$ (MPa).....	117
Tabela 5.1: Registo da Força média de Rotura e da Tensão de Aderência .....	128

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Existem em Portugal vestígios da utilização de elementos cerâmicos, embora esporádica e sem continuidade aparente, que datam do início do século XIII. No entanto, a utilização continuada do azulejo, denunciadora de determinação de gosto e tradição, só se inicia no século XV. Mais tarde, após o período *pombalino* e vivida a revolução industrial, criam-se, em Portugal, as condições sociais, económicas e políticas que contribuem para a proliferação da utilização do revestimento cerâmico.

Portugal foi dos países europeus que, a partir do século XVIII, mais utilizou o revestimento cerâmico em fachadas. Actualmente, este tipo de revestimento continua a ser amplamente utilizado, contribuindo para a valorização das edificações, por se esperar deles uma elevada durabilidade, vasta funcionalidade e bom desempenho estético.

Contudo, apesar do grande desenvolvimento da indústria da cerâmica e dos processos de fixação dos ladrilhos cerâmicos, os problemas relacionados com o seu destacamento são hoje uma patologia grave e frequente, registada, quer nos primeiros anos de utilização, quer após longos períodos de desempenho adequado.

O desempenho dos componentes que constituem o sistema de revestimento cerâmico, em particular dos cimentos-cola, é normalmente avaliado no momento da aplicação. O conhecimento das suas características no momento inicial é fundamental para a classificação e marcação CE. Sendo esta classificação imprescindível na selecção do material que melhor se adequa à utilização pretendida, não nos traduz, no entanto, o seu desempenho ao longo do tempo. Faltam-nos, pois, métodos objectivos, capazes de avaliar o desempenho de componentes e/ou materiais de construção ao longo da sua vida útil.

Os sistemas de revestimento cerâmico aderentes ao suporte são compostos basicamente pelos ladrilhos cerâmicos, pelo produto de colagem e pelo produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos. Estes materiais estão sujeitos a variações de temperatura e humidade, à radiação solar e à chuva, especialmente quando aplicados em fachadas. A resposta dos materiais a estes agentes de degradação é denunciada pela perda de desempenho de algumas das suas características fundamentais, ou seja, pelo seu envelhecimento.

A durabilidade deste e de muitos outros produtos utilizados na construção é um parâmetro fundamental para a classificação e medida da qualidade dos mesmos.

## **1.2 INTERESSE E OBJECTIVOS DO TRABALHO**

A procura da qualidade de uma edificação, e em particular, da qualidade dos seus elementos e componentes torna imperativo o desenvolvimento de métodos de avaliação da durabilidade dos materiais mais utilizados na sua construção e cuja degradação interfira, tão significativamente, na segurança dos utilizadores em geral.

A avaliação da durabilidade dos materiais tem múltiplos interesses para todos os intervenientes na construção: fabricantes, fornecedores e comerciantes, projectistas, construtores e utilizadores, em geral. Para os fabricantes, o conhecimento das características mais influentes na degradação dos materiais, dá-lhes a possibilidade de as melhorarem e as adequarem à utilização final prevista para o material. O conhecimento do termo da vida útil de um produto ou material de construção, para os fornecedores e comerciantes, pode funcionar como distintivo de qualidade para ser utilizado em paralelo com a marcação CE. Os projectistas e os construtores ficam aptos a seleccionar

adequadamente os materiais para a utilização pretendida. Quanto aos utilizadores finais do produto, o conhecimento do seu termo de validade sensibiliza-os para a necessidade de substituição e reabilitação, consciencializando-os para o facto das construções não serem eternas e contribuindo, deste modo, para a sua segurança.

Neste sentido, desenvolveu-se, no presente estudo, uma metodologia baseada na abordagem proposta pela EOTA – *European Organisation for Technical Approvals*, no documento guia GD003 [19], adaptada à especificidade do material escolhido e aos desenvolvimentos mais recentes. Este é um método experimental assente numa metodologia sequencial que pressupõe a comparação dos resultados obtidos em ensaios de curta duração – ensaios de envelhecimento acelerado, com ensaios de longa duração – ensaios de envelhecimento natural ou ensaios sobre sistemas e componentes já existentes ou anteriormente estudados.

Com o objectivo de avaliar a influência dos factores de degradação no desempenho dos cimentos-cola efectuámos um conjunto de ensaios na câmara de envelhecimento artificial acelerado – *Fitoclima 600 EDTU* – disponível no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia do Porto – LFC da FEUP, em que se simulam as acções e condições climáticas mais relevantes: radiação, chuva, gelo-degelo e variação de temperatura e humidade relativa.

Em paralelo, construiu-se uma estação de envelhecimento natural para a realização de ensaios sobre sistema de revestimento cerâmico aderentes sujeitos a condições de uso próximas das normalmente verificadas em fachadas.

A comparação dos valores obtidos em ambos os ensaios irá permitir o estabelecimento de uma correlação entre o número de ciclos de ensaio de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de degradação nos ensaios de envelhecimento natural.

Pretende-se, deste modo, constituir uma base de dados essencial e uma ferramenta muito útil no estabelecimento de um modelo para a previsão da vida útil dos produtos e materiais de construção do tipo dos cimentos-cola.

### 1.3 ESCOLHA DA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DOS CIMENTOS-COLA COMO TEMA

O sistema de revestimento cerâmico aderente é, não só, um dos sistemas de revestimento mais utilizados nas fachadas portuguesas, mas também, o que apresenta patologias com consequências mais graves. O descolamento, com ou sem destacamento, dos ladrilhos cerâmicos de paredes de fachadas (Figura 1.1) é uma patologia tão grave quanto frequente neste tipo de sistema de revestimento. Para além das consequências funcionais que o descolamento do revestimento cerâmico de fachadas implica, a queda de ladrilhos cerâmicos representa um enorme perigo de danos humanos e materiais, substancialmente agravado em edifícios altos.



Figura 1.1: Descolamento e destacamento de ladrilhos cerâmicos em paredes de fachadas

Para além disso, na sua reabilitação pontual, nem sempre se conseguem atingir os resultados desejados. Muitas vezes já não se encontram as peças cerâmicas de características semelhantes às utilizadas inicialmente e dificilmente se consegue garantir a homogeneidade na cor, textura e planeza das *fachadas cerâmicas* reabilitadas (Figura 1.2).

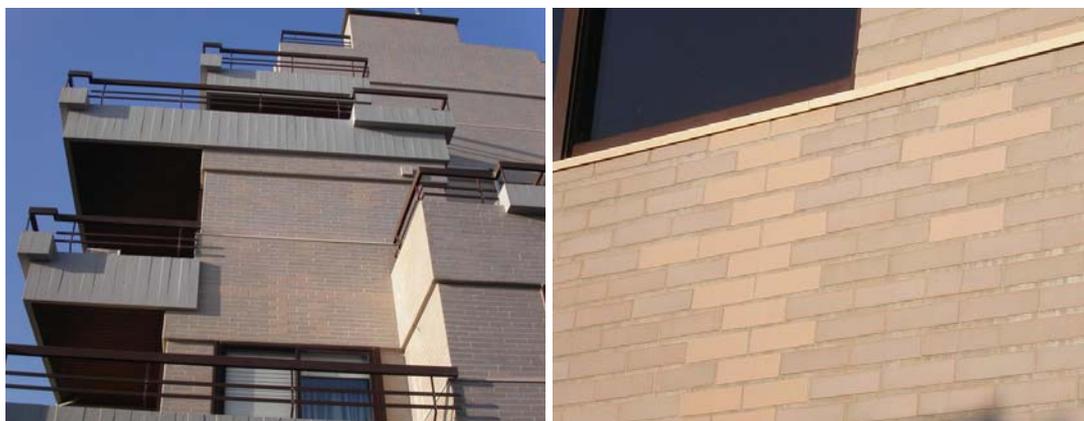


Figura 1.2: Reabilitação pontual de uma fachada: diferença de cor nas peças cerâmicas substituídas

Por outro lado, a degradação das fachadas, acarreta um marcante impacto social e económico, por serem o elemento mais visível das construções e determina, em grande parte, a imagem das cidades e a qualidade de vida das populações. Sendo os elementos mais expostos e sensíveis das construções estão mais sujeitos à ocorrência de patologias, requerendo uma atenção especial, quer na concepção e execução, quer na manutenção.

O facto de existir um escasso número de trabalhos de carácter experimental para o estudo da durabilidade dos materiais de construção, em particular dos cimentos-cola enquanto elemento do sistema de revestimento responsável pela adesão ao suporte dos ladrilhos cerâmicos, face à importância que estes estudos representam, constituiu um factor determinante para a selecção do tema desenvolvido.

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO**

Este trabalho apresenta-se subdividido em seis capítulos distintos.

No presente capítulo (Capítulo 1) faz-se uma breve introdução ao tema, descrevem-se os interesses fundamentais e apresentam-se os principais objectivos a atingir com o presente estudo. Justifica-se ainda a escolha do tema pelo desenvolvimento de uma metodologia experimental na avaliação da durabilidade dos revestimentos cerâmicos aderentes à fachada.

No Capítulo 2 desenvolve-se o conceito central deste estudo, a durabilidade. Faz-se o seu enquadramento normativo, expõe-se a sua classificação e desenvolve-se o método seguido no capítulo experimental para a sua avaliação. Descrevem-se todos os parâmetros necessários à avaliação da durabilidade, tais como: as funções, as exigências e os critérios requeridos aos sistemas de revestimento cerâmico aderentes e os factores de degradação que conduzem ao fim da sua vida útil.

No terceiro capítulo (Capítulo 3) faz-se uma descrição exhaustiva dos três componentes do sistema de revestimento cerâmico (ladrilho, cimento-cola e suporte) utilizados nos provetes de ensaio. Faz-se referência ao processo de certificação, em especial à marcação CE dos cimentos-cola e descreve-se a tecnologia de aplicação do sistema de revestimento cerâmico aderente a fachadas. Por fim, fala-se do descolamento dos

ladrilhos cerâmicos uma das principais patologias neste sistema de revestimento aderente.

No Capítulo 4, de carácter experimental, inclui-se a descrição dos ensaios de envelhecimento artificial realizados na câmara programável do LFC, bem como a apresentação e crítica dos resultados obtidos.

No Capítulo 5 apresenta-se o desenvolvimento da estação de envelhecimento natural. Faz-se referência aos ensaios realizados sobre os sistemas de revestimento cerâmico sujeitos a condições de utilização próximas das normalmente observadas em fachadas. Estabelecendo-se a correlação entre os resultados dos ensaios de envelhecimento artificial acelerado e os resultados dos ensaios de envelhecimento natural com perspectivas futuras de aperfeiçoamento e de concretização de um modelo de previsão da vida útil.

No Capítulo 6 sintetizam-se os resultados do estudo realizado e apresentam-se as considerações finais da dissertação.

São ainda apresentados três anexos:

- Manual do aparelho de medição da resistência à tracção;
- Manual da câmara de envelhecimento artificial acelerado;
- Relatórios de ensaio.

# CAPÍTULO 2

## 2 DURABILIDADE

### 2.1 DEFINIÇÃO

A durabilidade é, segundo o dicionário da língua portuguesa [123], a duração, ou ainda, a qualidade daquilo que é durável.

Associa-se, portanto, a durabilidade à qualidade, ou seja, à caracterização daquilo que resiste no tempo e assume-se que quanto mais durável for um produto ou material maior qualidade apresenta.

Por se definir como sendo uma duração, entende-se que a durabilidade é quantificável.

Existem variadíssimos documentos técnicos e normativos que abordam o tema da durabilidade ou vida útil dos materiais, componentes, sistemas ou construções. Uns de índole geral e outros mais específicos, relativos a certos materiais ou componentes, e relacionados com a classificação e com as metodologias para a avaliação da durabilidade.

A norma internacional ISO 15686 [15] apresenta definições distintas para os conceitos vida útil e durabilidade utilizando os termos *service life* e *durability*, respectivamente. O primeiro está descrito do seguinte modo:

- *Período de tempo, após a construção, em que o edifício ou seus elementos igualam ou excedem os requisitos mínimos de desempenho.*

A durabilidade aparece, no mesmo documento, assim descrita:

- *Capacidade do edifício ou seus elementos de desempenhar as funções requeridas durante um determinado período de tempo sobre a influência dos agentes actuantes em serviço.*

A EOTA – *European Organisation for Technical Approvals*, no documento guia GD002 [18], apresenta a seguinte definição para o termo *working life*, que podemos traduzir por vida útil:

- *Período de tempo durante o qual o desempenho dos produtos se mantêm a um nível compatível com a satisfação dos requisitos essenciais.*

Já a Norma Americana ASTM E632 [20] utiliza o termo *service life* e define-o como:

- *Período de tempo, depois da instalação, durante o qual todas as propriedades do material ou componente do edifício excedem os valores mínimos aceitáveis, quando sujeitos à manutenção adequada.*

A mesma norma define também a durabilidade utilizando o termo *durability* com a seguinte descrição:

- *Capacidade de manter um produto, componente, sistema ou construção em serviço durante um período definido de tempo.*

No EMODico [21], dicionário técnico, podemos ler a seguinte definição para a Durabilidade das argamassas:

- *Resistência da argamassa a diferentes condições químicas, mecânicas e climáticas, que asseguram o seu desempenho ao longo do tempo de vida útil.*

Entendemos, pelas definições apresentadas, a importância de conhecer as características dos materiais, produtos ou sistemas que mais condicionam o seu desempenho, bem como os respectivos níveis a elas exigidos. A essas características fundamentais chamamos *Requisitos Essenciais* e à sua qualificação designamos *Critérios*. O nível de

qualificação atribuído a cada *Requisito* é um parâmetro mensurável. Assim, através deles e dos respectivos *Crítérios* somos capazes de quantificar a Durabilidade.

A interpretação objectiva do conceito Durabilidade é imprescindível para a sua necessária avaliação. No entanto, este conceito reveste-se de considerável complexidade e variabilidade. Identificar as características fundamentais no desempenho de determinado edifício ou partes dele e definir o nível de exigência a eles requerido apresenta, para além do lado normativo exigencial, uma forte componente subjectiva. Assim, as expectativas que se tem de um edifício, sistema ou material de construção, ou o significado da sua funcionalidade, podem variar em função da utilização prevista, do seu utilizador, ou da época a que se reporta. Podemos expressar esta ideia com o exemplo de que na evolução dos padrões de conforto ao longo do século XX, para o mesmo país, mas em épocas distintas, leva a que se possa ou não aceitar como habitável um fogo sem isolamento térmico.

Hoje em dia, para além do conforto físico, térmico ou acústico, atribui-se elevada importância ao conforto visual, a aparência da construção deve ser apelativa para poder ser considerada de qualidade e, portanto, resistente e durável. Os revestimentos de fachada influenciam consideravelmente a estética global da edificação (Figura 2.1).



Figura 2.1: Destacamento de ladrilhos cerâmicos em paredes de fachadas

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO

A EOTA, no documento guia GD002 [18], apresenta uma classificação para a durabilidade de produtos em função da durabilidade das construções que se apresenta na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [18]

<i>Durabilidade das construções</i>		<i>Durabilidade dos produtos de construção</i>		
Categoria	Anos	Categoria		
		Reparáveis ou de Fácil Substituição	Reparáveis ou Substituíveis com mais algum esforço	Para toda a vida da construção
Pequena	10	10	10	10
Média	25	10	25	25
Normal	50	10	25	50
Longa	100	10	25	100

A norma internacional ISO 15686-1 [15] também recomenda valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes, tendo em conta a necessidade de manutenção e a possibilidade de serem indicados valores mais reduzidos de durabilidade (Tabela 2.2).

Tabela 2.2: Valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes [15]

<i>Durabilidade do edifício</i>	<i>Elementos estruturais ou sem acesso</i>	<i>Elementos cuja substituição é onerosa</i>	<i>Elementos facilmente substituíveis</i>	<i>Serviços</i>
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

Nota: 1 – Alguns dos elementos facilmente substituíveis, por exemplo pinturas exteriores, poderão ter durabilidade inferior, de 3 a 6 anos;

2 – A vida ilimitada deve ser utilizada apenas em casos raros porque reduz significativamente as opções de projecto.

Na classificação da durabilidade de um revestimento cerâmico devemos ter em atenção que esta resulta do somatório das durabilidades de cada constituinte do revestimento. A vida útil do sistema será correspondente à menor longevidade dos seus constituintes (suporte, reboco, emboco, argamassa de assentamento ou cola, juntas e ladrilho cerâmico).

A durabilidade da fachada depende de como a durabilidade dos materiais, componentes e sistema está compatibilizada e de como estes permitem o acesso à realização das acções periódicas de manutenção. Por exemplo, um revestimento cerâmico de fachada deve ser entendido como uma sucessão de camadas que se integram entre si, condicionando a durabilidade do subsistema às diferentes durabilidades de cada uma das camadas (alvenaria, salpisco, emboço, argamassa de assentamento e ladrilho cerâmico) [8].

## **2.3 AVALIAÇÃO**

A avaliação da durabilidade ou previsão do tempo de vida útil de um material ou componente pode basear-se, quer em modelos experimentais, quer em modelos teóricos (físicos ou matemáticos). Na estimativa da vida útil devem ser considerados aqueles que mais se adequam à natureza do produto e à sua utilização prevista. Portanto, antes de decidir sobre o método de avaliação a utilizar, convém definir as funções e exigências do elemento a estudar.

### **2.3.1 Funções, Exigências e Critérios**

As exigências, ou requisitos, decorrem das solicitações a que os materiais ou componentes estão sujeitos durante o seu período de vida e em condições normais de utilização.

A Directiva Europeia dos Produtos da Construção 89/106/CE [24] define, para os produtos de construção em geral, seis *Requisitos Essenciais*, que são os seguintes:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndios;
- Higiene, saúde e ambiente;
- Segurança na utilização;
- Protecção contra o ruído;
- Economia de energia e retenção de calor.

No que se refere ao sistema de revestimento cerâmico de fachadas, para compreendermos os requisitos que lhe são exigidos, devemos conhecer, previamente, quais as funções que se pretende que desempenhe. A utilização de um critério classificativo

de revestimentos de paredes exteriores baseado na sua funcionalidade, tal como o apresentado na Tabela 2.3, é o ideal para perceber qual a aptidão esperada de determinado revestimento.

Para além do critério funcional existem, evidentemente, muitos outros critérios classificativos possíveis, com base por exemplo nos materiais constituintes, na natureza do ligante, na técnica de execução, ou no carácter tradicional ou não tradicional do revestimento [26].

Tabela 2.3: Classificação de revestimentos exteriores de paredes [27]

<i>Classificação Funcional</i>	<i>Tipos Principais de Revestimentos</i>		<i>Tipos Discriminados de Revestimentos</i>	
REVESTIMENTOS DE ESTANQUIDADE	Revestimentos por elementos descontínuos (de fixação mecânica directa ou indirecta)	Em “escama”	Soletos de ardósia	
			Soletos de fibrocimento	
			Soletos de compósitos de cimento com fibras (sem amianto)	
			Ladrilhos de betão	
			Ladrilhos de barro vermelho	
		Em placas de pedra natural	Placas de granito	
			Placas de basalto	
			Placas de calcário	
		Em placas de outros materiais	Placas de mármore	
			Placas de ardósia	
Placas de pedra artificial				
Placas de fibrocimento	Autoclavado normal			
Placas de compósitos de cimento com fibras (sem amianto)				
Placas de plástico	Termoendurecido Termoplástico			
Placas de chapa de aço zinc.				
Em réguas	Réguas de madeira			
	Réguas de plástico	Termoendurecido Termoplástico		
	Réguas metálicas	Aço Alumínio		
Revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes			-	
Revestimentos com base em ligantes sintéticos armados			-	
REVESTIMENTOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	Revestimentos de ligantes minerais	Tradicionais	Argamassas de cimento	
			Argamassas de cal apagada	
	Não tradicionais	Argamassas de cal hidráulica		
		Argamassas bastardas		
Revestimentos monocamada				
Revestimentos de ligantes sintéticos			-	
Revestimentos de ligantes mistos			-	

Tabela 2.3: Classificação de revestimentos exteriores de paredes [27]

<i>Classificação Funcional</i>	<i>Tipos Principais de Revestimentos</i>	<i>Tipos Discriminados de Revestimentos</i>		
REVESTIMENTOS DE ISOLAMENTO TÉRMICO	Revestimentos por elementos por elementos descontinuos independentes com isolamento na caixa de ar	-	-	
	Revestimentos com revestimentos minerais armados e independentes com isolamento na caixa de ar	-	-	
	Revestimentos delgados sobre isolante	-	-	
	Revestimentos espessos sobre isolante	-	-	
	Revestimentos de argamassas de ligantes minerais com inertes de material isolante	-	-	
	Revestimentos por componentes isolantes	-	-	
	Revestimentos obtidos por projecção in situ de isolante	-	-	
REVESTIMENTOS DE ACABAMENTO OU DECORATIVOS	Camadas de acabamento dos revestimentos de impermeabilização de ligantes minerais	Tradicionais	-	
		Não tradicionais	-	
	Revestimentos de ligantes sintéticos	da classe I	-	
		da classe II	-	
		da classe III	-	
		da classe IV	-	
	Revestimentos delgados de ligantes mistos	-	-	
	Revestimentos por elementos descontinuos	Colados	Ladrilhos cerâmicos	Barro vermelho Azulejo Grés Semi-grés
			Ladrilhos hidráulicos	De pasta Granulado
			Ladrilhos de pedra natural	Granito Basalto Calcário Mármore Ardósia
			Ladrilhos de pedra artificial	
		Fixados mecanicamente (fixação directa)	Mosaicos de vidro opaco	
			Ladrilhos hidráulicos	De pasta Granulado
			Ladrilhos de pedra natural	Granito Basalto Calcário Mármore Ardósia
			Ladrilhos de pedra artificial	
Mosaicos de vidro opaco				
Revestimentos por pintura	Não texturados	-		
	Texturados	-		

Para além do conhecimento da funcionalidade, definir os *Requisitos Essenciais* de um determinado material ou componente implica o conhecimento aprofundado das condições de uso, ou seja, o conhecimento das acções a que o material ou componente vai estar sujeito durante a sua vida útil. Essas acções podem ser consideradas como agentes ou mecanismos de degradação quando responsáveis pela alteração das características fundamentais do produto em estudo.

No caso dos revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas, as solicitações mais relevantes a considerar são as seguintes:

- As solicitações de natureza higrotérmica, nomeadamente a temperatura e humidade, e outras solicitações climáticas, tais como o vento, a neve e o gelo;
- A acção da água e dos produtos quimicamente agressivos, inerentes, por exemplo, às operações normais de limpeza e conservação;
- Os choques;
- Os agentes que provocam a degradação do aspecto dos revestimentos, em particular as poeiras, os microorganismos e a poluição atmosférica.

Para resistir a estas e outras solicitações decorrentes da utilização normal, os revestimentos de fachada, em geral, deverão satisfazer as exigências apresentadas na Tabela 2.4, baseada nas exigências funcionais de revestimentos de paredes apresentadas em [25]. Na coluna da direita desta tabela assinalam-se as exigências consideradas mais relevantes para o sistema de revestimento cerâmico aderente a fachadas.

Tabela 2.4: Exigências funcionais de revestimentos de paredes

<i>Exigência</i>	<i>Tipos Principais de Exigências</i>	<i>Tipos Discriminados de exigências</i>			
EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA	Exigências de estabilidade	Estabilidade perante solicitações normais de uso	Peso próprio	X	
			Solicitações climáticas	X	
			Choques normais	X	
	Exigências contra riscos de incêndio	Acção fisiológica	Estabilidade perante solicitações de ocorrência accidental	Choques accidentais	X
			Reacção ao fogo		X
			Toxicidade		
			Exigências de segurança no uso	Segurança no contacto	Rugosidade dos paramentos
Temperatura dos paramentos					

Tabela 2.4: Exigências funcionais de revestimentos de paredes

<i>Exigência</i>	<i>Tipos Principais de Exigências</i>	<i>Tipos Discriminados de exigências</i>		
EXIGÊNCIAS DE COMPATIBILIDADE COM O SUPORTE	Exigências de compatibilidade geométrica		X	
	Exigências de compatibilidade mecânica		X	
	Exigências de compatibilidade química		X	
EXIGÊNCIAS DE ESTANQUIDADE	Exigências de estanquidade à água	Estanquidade à água da chuva	Permeabilidade à água X Absorção de água X	
			Permeabilidade ao vapor de água X	
		Estanquidade à água no interior	Permeabilidade à água Absorção de água	
EXIGÊNCIAS TERMO-HIGROMÉTRICAS	Exigências de isolamento térmico		X	
	Exigências de securos dos paramentos interiores	Temperatura superficial interior		
EXIGÊNCIAS DE PUREZA DO AR				
EXIGÊNCIAS DE CONFORTO ACÚSTICO				
EXIGÊNCIAS DE CONFORTO VISUAL	Exigências de planeza	Planeza geral	X	
		Planeza localizada	X	
	Exigências de verticalidade		X	
	Exigências de rectidão das arestas		X	
	Exigências de regularidade e de perfeição de superfície	Defeitos de superfície		X
		Largura de fissuras		X
	Exigências de homogeneidade de enodoamento pela poeira	Homogeneidade da temperatura superficial interior		X
	Exigências de homogeneidade de cor e de brilho	Diferença de cor		X
Diferença de reflectância difusa		X		
EXIGÊNCIAS DE CONFORTO TÁCTIL	Exigências contra a aspreza dos paramentos		Perfil geométrico de superfície	
	Exigências contra a pegajosidade dos paramentos			
	Exigências de securos dos paramentos			
EXIGÊNCIAS DE HIGIENE	Exigências contra a fixação de poeiras ou de micro-organismos		Aspreza dos paramentos Pegajosidade dos paramentos	
	Exigências de resistência à limpeza			

Tabela 2.4: Exigências funcionais de revestimentos de paredes

<i>Exigência</i>	<i>Tipos Principais de Exigências</i>	<i>Tipos Discriminados de exigências</i>		
EXIGÊNCIAS DE ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO NORMAL	Exigências de resistência a acções de choque e de atrito	Resistência aos choques	Choques de corpo mole	X
			Choques de corpo duro	X
		Resistência à riscagem	Classes de resistência à riscagem	X
	Exigências de resistência à acção da água		Resistência à água da chuva	X
			Resistência às projecções acidentais de água	X
			Resistência à lavagem por via húmida	X
			Resistência aos vapores húmidos	X
	Exigências de aderência ao suporte		Resistência ao arrancamento por tracção	X
			Resistência à peladura	X
	Exigências de resistência à formação de nódoas de produtos químicos ou domésticos		Resistência à formação de nódoas	
		Lavabilidade		
Exigências de resistência ao enodoamento pela poeira		Resistência à formação de nódoas	X	
		Lavabilidade	X	
	Exigências de resistência à suspensão de cargas		X	
EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE	Exigências de resistência aos agentes climáticos		Resistência ao calor	X
			Resistência ao frio	X
			Resistência à água	X
			Resistência à luz	X
			Resistência aos choques térmicos	X
	Exigências de resistência aos produtos químicos do ar		Resistência ao ozono	X
			Resistência ao dióxido de azoto	X
			Resistência ao dióxido de enxofre	X
			Resistência a soluções amoniacais	X
		Exigências de resistência à erosão provocada pelas partículas sólidas em suspensão no ar		X
	Exigências de resistência à fixação e ao desenvolvimento de bolores		X	
EXIGÊNCIAS DE FACILIDADE DE LIMPEZA				
EXIGÊNCIAS DE APTIDÃO PARA O ARMAZENAMENTO				
EXIGÊNCIAS DE ECONOMIA				

Apresentadas as exigências há que definir os parâmetros susceptíveis de as avaliar. A estes parâmetros atribuímos a designação de *Critérios*. Aos critérios de análise da vida útil podemos atribuir valores limites de referência, *Valores Críticos*, que serão fixados de acordo com a normalização aplicável ao produto ou componente em estudo ou, com base em questões de ordem mais subjectiva que se relacionem, por exemplo, com requisitos de índole estética, funcional ou económica.

No estudo experimental desenvolvido neste trabalho o *Requisito Essencial* avaliado foi a durabilidade ou vida útil física do sistema de revestimento cerâmico aderente a fachadas e o *Critério* seleccionado para a sua caracterização foi a quantificação da tensão de aderência dos cimentos-cola – elemento do sistema responsável pela ligação entre os ladrilhos e o suporte. O *Valor Crítico* fixado foi de 0,3 MPa.

### **2.3.2 Métodos de avaliação**

A previsão da vida útil é, pela própria variabilidade e evolução do conceito, uma ciência relativa e não exacta. Os produtos ou materiais em estudo definem, pelas suas características específicas ou pelo desempenho que deles se pretenda, o método de avaliação a utilizar. No entanto, para determinado produto ou componente da construção, há sempre um vasto conjunto de exigências a satisfazer. A generalidade dos métodos de avaliação, tendo em conta a complexidade e subjectividade implícitas na previsão da vida útil, concentra-se na análise particular de uma única exigência.

Ora, de acordo com o anteriormente exposto, o conjunto de exigências a satisfazer para um dado produto ou componente da construção é bastante alargado. No entanto, este conjunto pode cingir-se a três grupos principais de factores que determinam o final da vida útil de um elemento [22]:

- Obsolescência funcional ou de imagem;
- Performance económica;
- Vida útil física (durabilidade).

Existem diversos métodos que caracterizam ou modelam a vida útil funcional ou económica das construções ou dos seus elementos constituintes. Para estas situações utilizam-se, normalmente, modelos teóricos, apoiados sobretudo por métodos determinísticos ou probabilísticos.

No entanto, mesmo que se mantenha assegurado o interesse económico ou patrimonial de determinado edifício ou componente, e ainda que estes assegurem os requisitos de funcionalidade dos utentes, a vida útil das construções depende, no limite, da sua integridade física. Este facto, associado à natureza mensurável das propriedades físicas dos materiais, levou a que praticamente todo o estudo da vida útil se tenha concentrado sobre a durabilidade, de forma a programar as acções de manutenção no tempo e prever os respectivos custos. Para tal, desde o início dos anos oitenta, mas com particular ênfase na última década foram desenvolvidos numerosos métodos [22].

O método sugerido pela EOTA, no documento guia GD003 [19] foi o método seguido na avaliação da durabilidade do sistema de revestimento cerâmico aderente, presente no estudo experimental apresentado no Capítulo 4. Este é um método experimental assente numa metodologia sequencial que pressupõe a comparação dos resultados obtidos em ensaios de curta duração – ensaios de envelhecimento acelerado, com ensaios de longa duração – ensaios de envelhecimento natural ou ensaios sobre sistemas e componentes já existentes ou anteriormente estudados.

A primeira fase do método experimental é a *Definição do Problema*. É nesta fase que se definem quais as características essenciais do produto ou componente que devem ser avaliadas e quais os valores mínimos que essas características podem apresentar. Portanto, é nesta fase que se estabelecem os *Requisitos* e respectivos *Critérios* do produto ou componente em estudo.

Com a informação recolhida é possível identificar quais os mecanismos e factores de degradação que mais afectam os *Requisitos* considerados e quais os indicadores dessa mesma degradação. Esta fase é designada por fase de *Preparação*.

À fase de *Preparação* segue-se a fase de *Pré-Teste*, que envolve a realização de ensaios de curta duração sob condições extremas, tendo em vista a validação (a análise da viabilidade) dos mecanismos de degradação sugeridos.

Depois destas fases iniciais, onde são criadas as condições necessárias à experimentação propriamente dita, segue-se a fase de *Teste*. Nesta etapa devem realizar-se ensaios de curta duração e ensaios de longa duração. Os resultados dos ensaios de longa duração podem ser obtidos de inspecções realizadas a edifícios existentes, de resultados obtidos em experiências já realizadas ou de experiências em curso.

A realização dos dois tipos de ensaios, de curta e de longa duração, irá permitir: a comparação de ambos os resultados; a aceitação ou rejeição dos resultados obtidos nos ensaios de curta duração e o estabelecimento de uma correlação entre os tempos obtidos nos ensaios de envelhecimento artificial e os tempos reais de degradação do produto em estudo.

Se a degradação provocada pelos mecanismos e factores estabelecidos, em condições extremas, nos ensaios de envelhecimento acelerado, for semelhante à degradação observada nos produtos sujeitos às condições normais de utilização, durante longos períodos de tempo, então podemos estabelecer modelos de previsão do tempo de vida útil do produto.

Caso contrário, todo o processo é repetido, utilizando diferentes condições de exposição (diferentes factores e mecanismos ou diferentes tempos e intensidades de exposição) até se obterem os resultados de degradação semelhantes aos obtidos em condições naturais de exposição.

Na Figura 2.2 representa-se, de forma esquemática, o método para a previsão do tempo de vida útil dos materiais e componentes da construção anteriormente descrito.

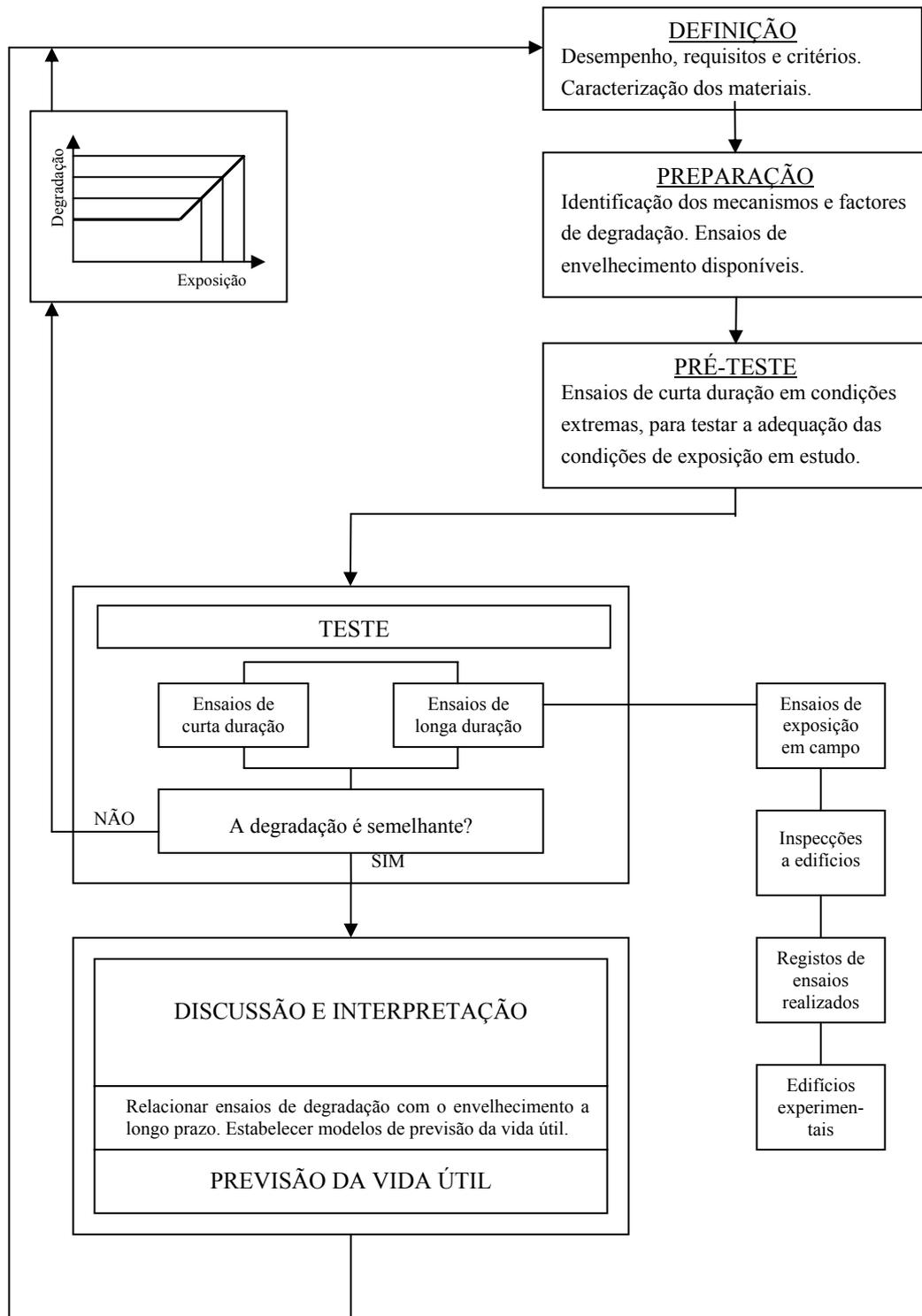


Figura 2.2: Método sistemático para a previsão do tempo de vida útil dos materiais e componentes da construção

## 2.4 MECANISMOS E FACTORES DE DEGRADAÇÃO

### 2.4.1 Considerações gerais

O envelhecimento refere-se a todo o processo de degradação produzido pela interacção entre um material, produto ou componente e o ambiente em que está inserido, alterando a sua estrutura e as suas propriedades dimensionais, físicas, químicas ou térmicas.

A degradação é o resultado das interacções entre o material e o seu meio. Nesse meio existem inúmeros factores de degradação que actuam em conjunto como a radiação, a temperatura, a humidade e muitos outros.

Estes factores de degradação não devem ser analisados isoladamente, pois a degradação resulta de interacções complexas de efeitos intrínsecos a dois ou mais factores. A actuação conjunta dos factores de degradação acelera o processo de envelhecimento.

Os factores de degradação a considerar no estudo da durabilidade dos revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas, estão directamente relacionados com determinadas solicitações, decorrentes das condições normais de uso, a que deverão resistir sem rotura nem destacamento em relação ao suporte, nomeadamente [8]:

- O peso próprio e as sobrecargas decorrentes da sua utilização normal;
- Os choques normais ou excepcionais;
- As acções climáticas externas, nomeadamente as solicitações higrotérmicas, a acção da neve e as acções de pressão e depressão, vibração e abrasão provocadas pelo vento;
- As deformações impostas, de carácter estrutural ou de outra índole;
- A acção da água e dos produtos quimicamente agressivos, inerentes, por exemplo, às operações normais de limpeza e conservação;
- Os agentes que provocam a degradação do aspecto dos revestimentos, em particular as poeiras, os microorganismos e a poluição atmosférica.

Quando expostos aos factores de degradação, ou às solicitações normais decorrentes do uso, os materiais vão sofrendo alterações, apresentando, normalmente, uma sucessiva perda de funcionalidade.

O efeito da degradação é essencialmente traduzido pela mudança das propriedades dos materiais. A alteração ou perda de determinada característica física, química ou mecânica do produto revela portanto o seu envelhecimento.

#### **2.4.2 O peso próprio e as sobrecargas decorrentes da sua utilização normal**

Muito embora este tipo de acção esteja relacionado com suportes de funções estruturais, o sistema de revestimento, porque funciona em conjunto com o suporte, assume parte da carga a este destinada. A quantidade de carga absorvida pelo revestimento depende da relação entre a sua rigidez e a do suporte.

O revestimento apenas compartilhará com o suporte as cargas que sejam aplicadas após o seu assentamento, como é o caso do seu peso próprio e das sobrecargas de serviço. Poderá, no entanto, sofrer as consequências da deformação por fluência devida a cargas aplicadas antes do assentamento. Este efeito é tanto maior quanto mais curto for o tempo decorrente entre a aplicação destas cargas e o assentamento. A definição do momento adequado para o assentamento é, portanto, uma questão essencial [9].

Outra questão essencial, a definir na concepção do sistema de revestimento, é a quantificação do seu peso próprio e das sobrecargas decorrentes da sua utilização. O peso próprio deverá ser indicado pelo fabricante, enquanto que as sobrecargas aparecem definidas nos regulamentos próprios, como por exemplo no *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes – RSA* [33].

#### **2.4.3 Os choques normais ou excepcionais**

Os sistemas de revestimento de paredes deverão resistir aos choques acidentais não excepcionais, resultantes da ocupação normal (choques normais), podendo também contribuir para a resistência aos choques excepcionais dos elementos construtivos em que se inserem.

Os elementos construtivos devem ser capazes de resistir aos choques correntes e excepcionais, como por exemplo a queda de pessoas ou objectos, provenientes do exterior ou do interior, sem pôr em risco a segurança das pessoas. A resistência aos choques excepcionais deverá ser garantida pelos elementos no seu conjunto (paredes ou pavimentos), cabendo aos toscos a principal parcela, podendo os revestimentos dar algum contributo [9].

A exposição à acção dos choques é variável. Numa mesma fachada podemos identificar diferentes zonas com importâncias distintas de exposição. As arestas das fachadas e as zonas próximas do terreno são as áreas mais susceptíveis a este tipo de acção.

As acções de choque conduzem, normalmente à acentuada fendilhação dos ladrilhos cerâmicos, podendo até provocar o seu destacamento.

#### 2.4.4 As solicitações higrotérmicas

##### 2.4.4.1. A acção da temperatura e da radiação solar

As variações de temperatura provocam alterações dimensionais nos materiais. Para os materiais de construção correntes e para a gama de temperatura a que estarão sujeitos em serviço, existe uma relação linear entre a variação dimensional sofrida e a variação da temperatura que a provocou, dada pela expressão seguinte:

$$\Delta L \cong L \cdot \alpha_l \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

em que:

$\Delta L$  – é a variação de comprimento por acção da temperatura [m];

$L$  – representa o comprimento inicial [m];

$\alpha_l$  – é o coeficiente de dilatação térmica linear [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ];

$\Delta t$  – representa a variação da temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ].

No sistema de revestimento cerâmico, o suporte e cada um dos seus constituintes apresentariam, se não solidarizados, variações dimensionais diferentes quando sujeitos a uma mesma acção, porque são diferentes os seus coeficientes de dilatação térmica ( $\alpha_l$ ) (ver Tabela 2.5).

Tabela 2.5: Valores do coeficiente de dilatação térmica linear -  $\alpha_l$

<i>Material</i>	$\alpha_l$ [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]	<i>Referência</i>
Ladrilho em grés	$9 \times 10^{-6}$	
Azulejo (faiança)	$9 \times 10^{-6}$	
Ladrilho porcelânico	$9 \times 10^{-6}$	
Ladrilho extrudido	$(5 \text{ a } 13) \times 10^{-6}$	
Tijolo	$(3,5 \text{ a } 5,8) \times 10^{-6}$	ISO 10545-8 [47]
Argamassa de juntas	$9,6 \times 10^{-6}$	
Argamassa de reboco	$10,0 \times 10^{-6}$	
Cimento-cola	$10,0 \times 10^{-6}$	
Betão corrente	$6,0 \times 10^{-6}$	

Contudo, estando o suporte e os vários componentes do sistema de revestimento cerâmico aderente rigidamente solidarizados, a componente diferencial das suas variações dimensionais fica restringida, do que resulta a instalação de tensões no revestimento e suporte. Estas apresentam padrões diferentes conforme o tipo de movimentos e suas combinações; isto é tensões de compressão ou de tracção nos ladrilhos e nos produtos de preenchimento das suas juntas e tensões de corte e normais na cola e nas interfaces ladrilhos-cola.

Sendo o coeficiente de dilatação térmica dos produtos cerâmicos ( $\alpha_1 \approx 5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) sensivelmente metade do dos materiais cimentícios ( $\alpha_1 \approx 10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), uma variação uniforme da temperatura provocaria, se esses elementos não estivessem solidarizados, deformações diferentes nos ladrilhos e nos constituintes cimentícios do revestimento ou do suporte [9].<sup>1</sup>

A parte restringida das deformações dará origem à instalação de tensões no sistema de revestimento e no suporte.

A diminuição uniforme da temperatura provocará tensões de compressão nos ladrilhos cerâmicos. Como, para esta mesma acção, os elementos cimentícios subjacentes têm a tendência de contrair mais do que os ladrilhos cerâmicos, há uma componente diferencial do movimento que fica restringida e que origina a instalação da tensão de compressão nos ladrilhos (Figura 2.3).

No caso contrário, um aumento uniforme da temperatura provocará a instalação de tensões de tracção nos ladrilhos cerâmicos, porque os ladrilhos dilatam menos do que os elementos cimentícios adjacentes (Figura 2.4).

---

<sup>1</sup> Nota:  $\alpha_1 \approx 5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  significaria uma deformação de 0,1 mm/m por cada 20°C de variação de temperatura;  $\alpha_1 \approx 10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  significaria uma deformação de 0,2 mm/m para a mesma variação de temperatura. Assim para essa variação de temperatura, restará uma deformação diferencial de 0,1 mm/m [9].

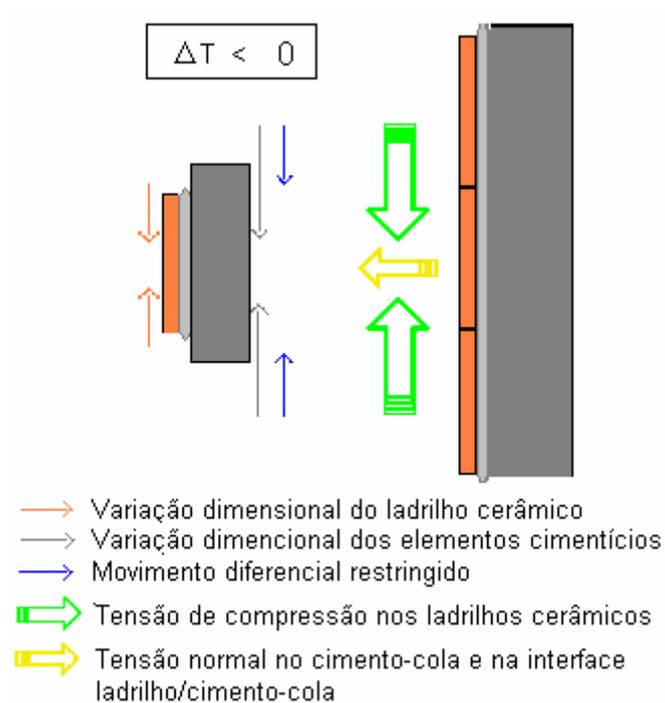


Figura 2.3: Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido à diminuição uniforme da temperatura

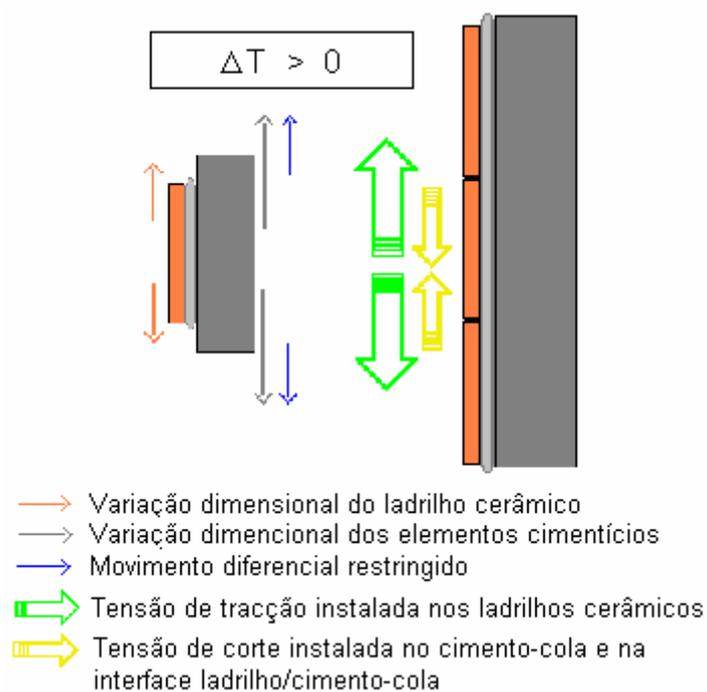


Figura 2.4: Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido ao aumento uniforme da temperatura

As variações sazonais da temperatura geralmente são lentas, o que favorece a *relaxação*<sup>2</sup> das tensões geradas. No entanto, se essa variação for brusca ou rápida, não haverá lugar a relaxação significativa das tensões, sobretudo nos ladrilhos cerâmicos cuja *capacidade de relaxação*<sup>3</sup> de tensões será menor do que a das argamassas. Assim nos ladrilhos, o nível elevado das tensões geradas, conjugado com o seu comportamento frágil, poderá dar origem a roturas ruidosas e violentas, ou mesmo explosivas, indício da libertação de uma grande quantidade de energia acumulada [9].

A envolvente exterior dos edifícios pode atingir amplitudes térmicas, ao longo do ano, superiores a 50°C [8]. Nas Figuras 2.5 e 2.6 apresentam-se as temperaturas exteriores máximas absolutas, de Verão e as temperaturas exteriores mínimas absolutas, de Inverno, no território nacional.

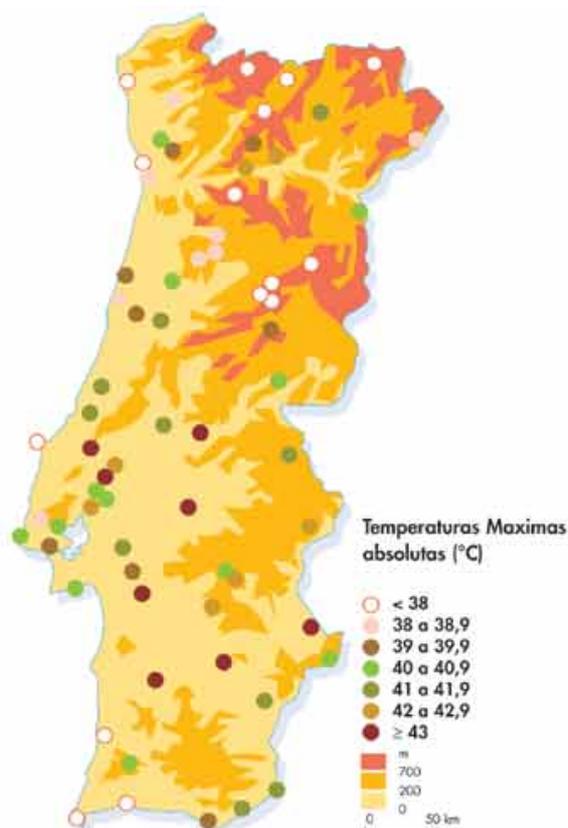


Figura 2.5: Temperaturas exteriores máximas, em Portugal (Verão) [124]

<sup>2</sup> A *relaxação* consiste na diminuição ao longo do tempo das tensões geradas por imposição de uma deformação constante, devida à capacidade de dissipação de energia de deformação de alguns materiais [9].

<sup>3</sup> A *capacidade de relaxação* de tensões em materiais mais frágeis como os ladrilhos deverá ser inferior à de materiais comparativamente mais dúcteis como as argamassas. [9].

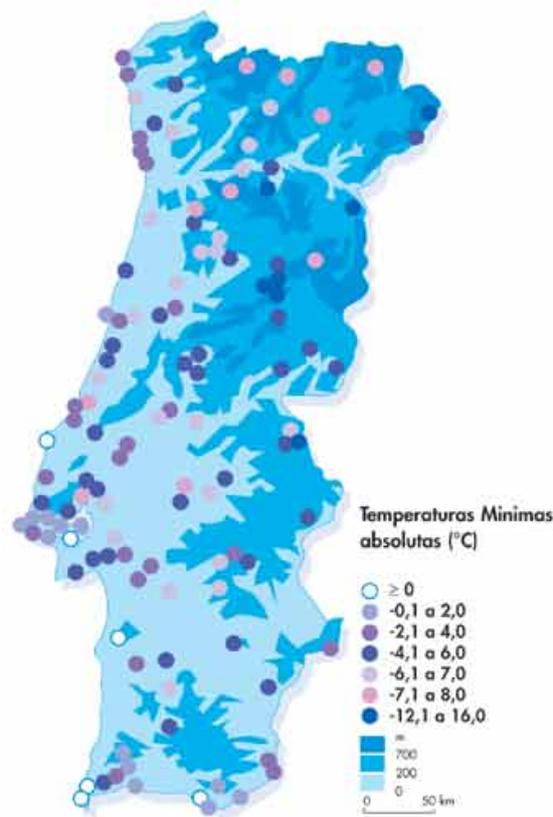


Figura 2.6: Temperaturas exteriores mínimas, em Portugal (Inverno) [124]

Quando a variação da temperatura não é uniforme, como por exemplo no caso de uma superfície exterior sujeita à radiação solar, a deformação diferencial resultará não só da diferença de coeficientes de dilatação térmica, mas também do próprio diferencial de temperatura. A superfície exterior de um elemento de construção sujeito à radiação solar poderá atingir os valores definidos pela seguinte expressão:

$$t_{se} \cong t_e + \frac{\alpha_s \cdot R}{h_e} \quad (2.2)$$

em que:

$t_{se}$  – Temperatura da superfície exterior [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ];

$t_e$  – Temperatura do ambiente exterior [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ];

$\alpha_s$  – Coeficiente de absorção da radiação solar [-];

$R$  – Radiação solar global [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];

$h_e$  – Condutância térmica superficial exterior [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ].

De um modo geral pode considerar-se que  $h_e = 25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , enquanto que o valor de  $\alpha_s$  é, sobretudo, condicionado pela cor do paramento, não devendo contudo menosprezar-se o efeito da rugosidade da superfície ou da sujidade que se deposita [8].

Na Tabela 2.6 apresentam-se alguns valores de  $\alpha_s$ , em função da cor da superfície.

Tabela 2.6: Valores do coeficiente de absorção da radiação solar -  $\alpha_s$  [8]

<i>Cor da Superfície</i>	<i>Valor de <math>\alpha_s</math></i>
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo, cor-de-laranja, vermelho claro	0,3 a 0,5
Vermelho escuro, verde claro, azul claro	0,5 a 0,7
Castanho, verde escuro, azul vivo, azul escuro	0,7 a 0,9
Castanho escuro, preto	0,9 a 1,0

No caso concreto do revestimento cerâmico, sob acção da incidência directa da radiação solar, um ladrilho de cor escura pode rapidamente atingir uma temperatura da ordem dos  $60^\circ\text{C}$ , de que resultarão, no plano do revestimento, por restrição da dilatação imposta aos ladrilhos, tensões de compressão muito elevadas e sem possibilidade de, face à rapidez da acção, beneficiarem de relaxação significativa.

O gradiente de temperatura, resultante da sua variação não uniforme, provocará, para além de roturas explosivas, uma curvatura no elemento revestido, de cuja restrição resultará a instalação de tensões de tracção ou de compressão nos ladrilhos.

A intensidade da radiação solar global (que apresenta a componente directa e difusa) depende de diversos factores, tais como [8]:

- A latitude geográfica;
- A altitude do local;
- A estação do ano;
- A hora do dia;
- A orientação e inclinação da superfície que recebe a radiação;
- A poluição atmosférica;
- O ambiente circundante, nomeadamente o sombreamento que provoca sobre a superfície.

Em Portugal continental os valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores são, de um modo geral, os que se apresentam nas Tabelas 2.7 e 2.8 e na Figura 2.7.

Tabela 2.7: Valores máximos da radiação global incidente sobre superfícies verticais exteriores, em Portugal Continental [124]

<i>Estação do Ano</i>	<i>Radiação Solar Global Máxima – R [W/m<sup>2</sup>]</i>					
	Superfícies Verticais					
	N	E	SE	S	SO	O
Inverno	90	680	940	1050	920	670
Primavera/Outono	150	720	980	790	940	700
Verão	180	900	880	460	800	780

Tabela 2.8: Valores máximos da radiação global incidente sobre superfícies inclinadas exteriores, em Portugal Continental [124]

<i>Estação do Ano</i>	<i>Radiação Solar Global Máxima – R [W/m<sup>2</sup>]</i>					
	Superfícies Inclinadas					
	(todas as Orientações excepto o Norte)					
	(90°-75°)	(75°-60°)	(60°-45°)	(45°-30°)	(30°-15°)	(15°-0°)
Verão	90	680	940	1050	920	670
Inverno	180	900	880	460	800	780

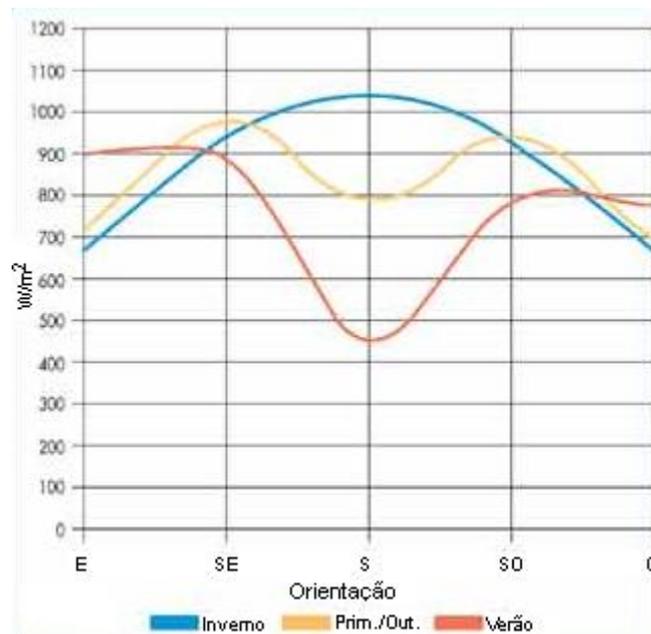


Figura 2.7: Valores máximos da radiação global incidente sobre superfícies verticais exteriores, em Portugal Continental [124]

#### **2.4.4.2. A acção da humidade**

Tal como os gradientes de temperatura, as variações do teor de humidade provocam variações dimensionais nos materiais. As variações induzidas poderão ter um carácter reversível ou irreversível.

São reversíveis as variações dimensionais que resultam das alternâncias de humedecimento e secagem dos materiais quando em serviço. Essas alternâncias são provocadas pela água da chuva, água utilizada nas operações de limpeza e projecções de água inerentes do uso e, também, pelas alterações de humidade relativa ambiente.

As variações dimensionais irreversíveis são a retracção de secagem inicial das argamassas e betões e a expansão com a humidade dos produtos cerâmicos que se segue à sua cozedura.

A solidarização de materiais com coeficientes de expansão com a humidade distintos, como no caso dos sistemas de revestimento cerâmico aderentes, implica a restrição das deformações impostas por alterações do teor de humidade. Tal como no caso da variação da temperatura, tais restrições originam a instalação de tensões de compressão ou de tracção no plano dos ladrilhos.

As variações dimensionais provocadas por variações cíclicas de humidade ou temperatura conduzem ao enfraquecimento por fadiga dos materiais.

#### **2.4.4.3. A acção do vento**

A acção do vento no território nacional encontra-se caracterizada no RSA [33], em função do *Zonamento do Território* e da *Rugosidade Aerodinâmica do Solo*.

Nos sistemas de revestimento aderentes ao suporte despreza-se, normalmente, esta solicitação, uma vez que as tensões geradas são bastante inferiores à resistência dos produtos de colagem. Já nos sistemas de revestimento exteriores fixados mecanicamente a acção do vento torna-se condicionante.

O RSA [33] considera, em termos de acção do vento, que Portugal se divide em duas zonas distintas, sendo:

Zona A – A generalidade do território, com excepção das regiões pertencentes à zona B;

Zona B – Os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou altitudes superiores a 600 m.

Consideram-se, no RSA [33], dois tipos de rugosidade aerodinâmica, para ter em conta a variação da acção do vento com a altura acima do solo, sendo:

Rugosidade do tipo I – a atribuir aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem edifícios de médio e de grande porte;

Rugosidade do tipo II – a atribuir aos restantes locais, nomeadamente zonas rurais e periferias urbanas.

Na Tabela 2.9 apresentam-se alguns valores característicos da pressão dinâmica do vento –  $w$  (Pa), determinados a partir das fórmulas definidas no RSA [33].

As pressões ou depressões que se exercem sobre as fachadas e coberturas podem ser calculadas multiplicando os valores da pressão dinâmica do vento  $w$  (Pa) pelos coeficientes de pressão definidos no RSA [33] [8].

Tabela 2.9: Valores característicos da pressão dinâmica do vento –  $w$  [Pa], segundo o RSA

Altura Acima do Solo h [m]	<i>Estruturas Identicamente Solicitadas pelo Vento</i>				<i>Restantes Estruturas</i>			
	Zona A		Zona B		Zona A		Zona B	
	Rugosidade		Rugosidade		Rugosidade		Rugosidade	
	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II
0	921	1212	1115	1467	709	932	857	1128
10	921	1212	1115	1467	709	932	857	1128
15	921	1347	1115	1630	709	1036	857	1254
20	1025	1454	1240	1760	788	1119	954	1353
40	1309	1759	1584	2129	1007	1353	1219	1638
70	1616	2064	1956	2498	1243	1588	1505	1921
120	2000	2419	2420	2927	1538	1861	1861	2251

## 2.5 FIM DA VIDA ÚTIL

A definição do *Fim da Vida Útil*, tal como a do conceito de *Durabilidade*, não é inequívoca. Reveste-se de enorme subjectividade, não só, pelo facto de ser caracterizada pelo grande número de propriedades com diferentes níveis de importância, como também, pela própria evolução no julgamento da utilidade ou validade ao longo das várias épocas.

Aparentemente de leitura unívoca, por representar o termo do usufruto ou o fim da aplicação de determinado material, componente ou construção, o fim da vida útil pode ter diferentes interpretações.

Por exemplo, a vida útil de uma construção ou edificação está associada a aspectos relacionados com a segurança estrutural e não degradação dos materiais com funções estruturais. Citando a proposta do RGE, no artigo 119º ponto 1 da versão final de 17-06-2004 [35], a vida útil de uma edificação, doravante também designada por VUE, corresponde ao período em que a respectiva estrutura não apresenta degradação dos materiais, em resultado das condições que conduzam à redução da segurança estrutural inicial, nomeadamente nas secções críticas dos elementos estruturais principais. O conceito VUE está, portanto, relacionado com a vida útil física ou durabilidade.

Contudo, quando falamos em partes da edificação, materiais, componentes ou sistemas, com maior facilidade de reparação ou substituição do que, obviamente, a estrutura da edificação, a durabilidade deixa de ser o factor dominante na determinação do fim da vida útil. Na generalidade das situações, não se chega a atingir o limite da vida útil física quando se alteram ou recuperam partes das construções. São critérios do domínio subjectivo, como a aparência, a necessidade de novidade ou a alteração da funcionalidade, que ditam o fim da vida útil dos materiais e componentes das edificações, mesmo antes de estes se apresentarem fisicamente obsoletos.

Na tentativa de demonstrar quais os factores determinantes para o fim da vida útil MOSER [36] analisa graficamente este conceito. O método utilizado apoia-se na atribuição de diferentes níveis de exigência às diferentes propriedades em análise, que, por seu lado, apresentam perdas de desempenho também distintas. O gráfico da Figura 2.8 mostra a relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e as exigências mínimas aceitáveis. Na generalidade das situações, de acordo com o exemplo

graficamente exposto, a aparência, apesar de apresentar níveis de exigência inferiores relativamente à segurança, é a propriedade condicionante da vida útil, pois apresenta um decréscimo de desempenho mais acentuado.

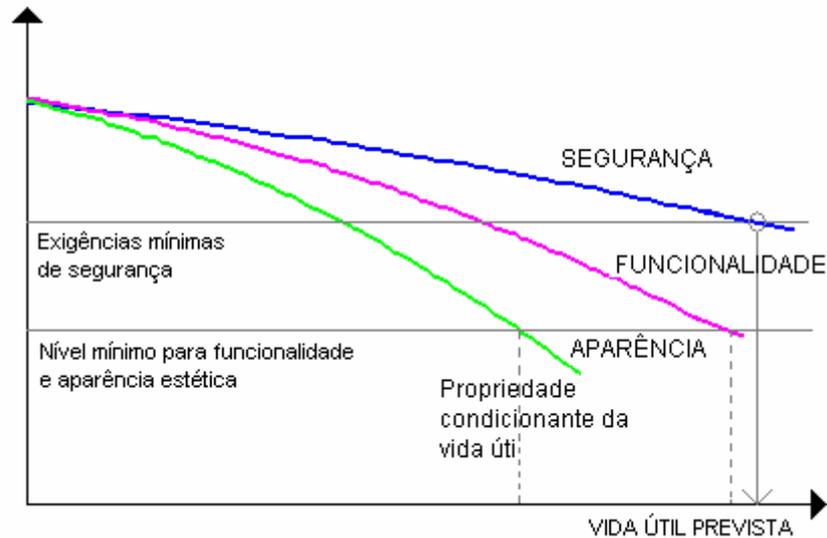


Figura 2.8: Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e os mínimos aceitáveis, com identificação daquela que condiciona a vida útil da construção

No estudo experimental desenvolvido neste trabalho considerou-se a vida útil física do sistema de revestimento cerâmico como a propriedade condicionante. O fim da vida útil física associou-se à falta de aderência do sistema ao suporte, porque o destacamento representa a mais grave e frequente patologia dos sistemas de revestimento cerâmico aderentes e porque influencia, significativamente, a segurança dos utentes. Antepôs-se a vida útil física, em detrimento da obsolescência funcional ou de aparência estética, porque, o sistema de revestimento cerâmico mantém a sua funcionalidade desde que não esteja fisicamente degradado e porque, em termos de aparência, a grande maioria deste tipo de componente das edificações não apresenta um decréscimo acentuado.



## **CAPÍTULO 3**

### **3 SISTEMAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO**

#### **3.1 ORIGENS E EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADAS**

Existem em Portugal vestígios da utilização de cerâmica que datam do início do século XIII como por exemplo a cerâmica pavimentar medieval da abadia cisterciense de Alcobaça. Outro exemplo da aplicação de expressão medieval, embora esporádica e sem continuidade aparente, é o trecho do pavimento da capela tumular de Estêvão Domingues e Mor Martins no claustro da Sé de Lisboa (início do século XIV).

A utilização continuada do azulejo, denunciadora de determinação de gosto e tradição, inicia-se no século XV. Ele foi introduzido em soluções ornamentais de edifícios civis e religiosos. Encontram-se exemplares deste período no Museu de Beja, no Palácio da Quinta da Bacalhoa em Azeitão (Figura 3.1), no Convento de Jesus em Setúbal, no Paço de Sintra (Figura 3.2), no Museu Nacional do Azulejo, no Museu da Cidade de Lisboa e na Quinta das Torres em Azeitão. O seu uso implicava, até então, um custo elevado limitando-se, na sua maioria, aos revestimentos interiores em forma de tapete ou a peças ornamentais. Quando utilizado no exterior, limitava-se ao revestimento de pináculos e cúpulas de igrejas.



Figura 3.1: *Rapto das Sabinas* no Palácio da Quinta da Bacalhoa – Azeitão [120]



Figura 3.2: Interior revestido a azulejo no Paço de Sintra – Sintra [120]

O Marquês de Pombal, no século XVIII, implementa em Portugal um projecto de industrialização da cerâmica. Cria-se, então, a Fábrica Real (Fábrica de Loiça do Rato), simplificam-se os padrões dos azulejos existentes com o intuito de aumentar a produção e diminuir o seu custo. Tornando-se acessível a um público mais vasto, a utilização do revestimento cerâmico estende-se a espaços intermédios entre o interior e o exterior, como no revestimento de alpendres, pátios e claustros e também na decoração de jardins em bancos e chafarizes (Figura 3.3).



Figura 3.3: Quinta dos Azulejos (à esquerda) e Palácio dos condes de Mesquitela (à direita) – Lisboa [120]

De sóbrio e equilibrado bom gosto, este variado azulejo *pombalino* constitui um período expressivamente bem definido que se estende até ao reinado seguinte de D. Maria, em contraponto com o neoclassicismo da transição para o século XIX [1].

No século XIX a proliferação da produção industrializada, decorrente da Revolução Industrial, imprime maior simplicidade e economia na produção e utilização do revestimento cerâmico. O azulejo sai de novo do interior dos edifícios mas, desta vez, para revestir completamente a fachada. Assim, com influências brasileiras, o revestimento cerâmico traz luz, cor e alegria à fachada, definindo um novo ambiente urbano. Para além disso, por ser durável e facilmente lavável, a sua aplicação na fachada, confere salubridade aos edifícios, especialmente nos situados em zonas ribeirinhas (Figura 3.4 e Figura 3.5).



Figura 3.4: Zona da foz do Rio Douro, Passeio Alegre – Porto



Figura 3.5: Zona da Ribeira – Porto [121]

Os portugueses desenvolveram, diversificaram e adaptaram, com criatividade muito própria, a utilização do azulejo, transportando-o até à arquitectura do século XXI (Figura 3.6).



Figura 3.6: Faculdade de Letras da Universidade do Porto – FLUP [122]

O revestimento cerâmico de fachada continua a ser amplamente utilizado, contribuindo para a valorização das edificações, por se esperar deles uma elevada durabilidade, vasta funcionalidade e bom desempenho estético.

## **3.2 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO**

### **3.2.1 O sistema de revestimento cerâmico**

O sistema de revestimento cerâmico aderente ao suporte é composto basicamente por 6 camadas de materiais diferentes: suporte, chapisco, emboço, cimento-cola, junta e ladrilho cerâmico.

Nos parágrafos seguintes (§ 3.2.2, § 3.2.3 e § 3.2.4) descrevem-se detalhadamente apenas três dos componentes, os ladrilhos cerâmicos, os cimentos-cola e os suportes, por serem estes os elementos do sistema utilizados na preparação dos provetes para o estudo experimental desenvolvido (Capítulos 4 e 5).

### **3.2.2 Ladrilhos Cerâmicos**

#### **3.2.2.1. Definição**

Os ladrilhos cerâmicos são placas finas feitas de argilas e/ou outras matérias-primas inorgânicas e são geralmente utilizadas como revestimentos de pavimentos e paredes, usualmente conformadas por extrusão ou prensagem à temperatura ambiente, mas podendo ser moldadas por outros processos, em seguida secas e subsequentemente cozidas a temperaturas suficientes para se obterem as propriedades requeridas; os ladrilhos podem ser vidrados – GL ou não vidrados – UGL, são incombustíveis e não são afectados pela luz [8 e 38].

### 3.2.2.2. *Enquadramento normativo*

Os ladrilhos cerâmicos são classificados em função do processo de fabrico a que foram sujeitos e do coeficiente de absorção de água, E, que apresentam.

Os requisitos aplicáveis aos ladrilhos cerâmicos estão definidos na Norma Europeia EN 14411 – *Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marketing*: 2003 [38].

Esta norma foi elaborada a partir da Norma Internacional ISO 13006:1998 [39] com o objectivo de definir, caracterizar e classificar os ladrilhos cerâmicos.

Por conseguinte, a norma EN 14411 [38] estabelece os seguintes critérios para a classificação dos ladrilhos cerâmicos em grupos de produtos:

- Os diferentes tipos de ladrilhos em função do processo de conformação são os seguintes:
  - Tipo A – processo de conformação por extrusão;
  - Tipo B – processo de conformação por prensagem a seco;
  - Tipo C – outros processos de conformação.
  
- Os diferentes grupos de ladrilhos em função do seu coeficiente de absorção de água (E) são os seguintes:
  - Grupo I –  $E \leq 3 \%$ ;
  - Grupo II a) –  $3 \% < E \leq 6 \%$ ;
  - Grupo II b) –  $6 \% < E \leq 10 \%$ ;
  - Grupo III –  $E > 10 \%$ .

Na Tabela 3.1 apresenta-se a classificação dos ladrilhos cerâmicos em função do seu processo de fabrico e do seu coeficiente de absorção de água.

Tabela 3.1: Classificação dos ladrilhos cerâmicos segundo a EN 14411 [38]

<i>Processo de Fabrico</i>		<i>Coefficiente de Absorção de Água</i>				
		$E \leq 3 \%$	$3 < E \leq 6 \%$	$6 < E \leq 10 \%$	$E > 10 \%$	
Extrudido	A	AI	AIIa	AIIb	AIII	
Prensado a seco	B	$E \leq 0,5 \%$	$0,5 < E \leq 3 \%$	BIIa	BIIb	BIII
		BIIa	BIIb			
Outros	C	CI	CIIa	CIIb	CIII	

Na Tabela 3.2 apresentam-se alguns exemplos dos ladrilhos cerâmicos mais utilizados em revestimentos de fachadas os respectivos grupos e coeficientes de absorção de água.

Tabela 3.2: Classificação dos ladrilhos cerâmicos – Exemplos

<i>Ladrilhos Cerâmicos</i>	<i>Grupo</i>	<i>Absorção de água</i>
Grés prensado (esmaltado ou não)	BIIa	$E \leq 0,5\%$
	BIIb	$0,5\% < E \leq 3\%$
	BIIa	$3\% < E \leq 6\%$
	BIIb	$6\% < E \leq 10\%$
	BIII	$E > 10\%$
Barro vermelho prensado (esmaltado ou não)	BIIa	$3\% < E \leq 6\%$
	BIIb	$6\% < E \leq 10\%$
	BIII	$E > 10\%$
Faiança	BIII	$E > 10\%$
Grés extrudido (esmaltado ou não) Verso plano ou estriado	AI	$E \leq 3\%$
	AIIa	$3\% < E \leq 6\%$
	AIIb	$6\% < E \leq 10\%$
	AIII	$E > 10\%$

### 3.2.2.3. Características

Os ladrilhos e azulejos poderão ser aplicados no revestimento de paredes, pavimentos, terraços e/ou coberturas, no interior ou exterior dos edifícios, considerando sempre as características mais relevantes para cada aplicação.

Consoante a utilização existem características específicas que deverão ser determinadas nos ladrilhos a aplicar. Devemos, portanto, em função das seguintes aplicações, conhecer as características dos ladrilhos enumeradas:

- Características específicas para aplicações exteriores:
  - Resistência ao gelo;
  - Resistência ao impacto;
  - Dilatação térmica linear.
  
- Características específicas para pavimentos:
  - Resistência mecânica;
  - Resistência à abrasão;
  - Resistência ao impacto;
  - Resistência ao escorregamento;
  - Resistência às manchas.
  
- Características específicas para ladrilhos vidrados:
  - Resistência à fendilhagem.
  
- Características específicas para ladrilhos de cor uniforme:
  - Pequenas diferenças de cor.
  
- Características específicas para aplicações em bancas de cozinhas ou de locais em contacto com alimentos:
  - Libertação de chumbo e cádmio, provenientes de vidrados e decorações.
  
- Características específicas para aplicações em piscinas:
  - Resistência aos aditivos para águas de piscina.
  
- Características específicas para aplicações em instalações da indústria química:
  - Resistência a altas concentrações de ácidos e álcalis.

### 3.2.2.4. Ensaios

A norma EN 14411 [38] remete para as normas de ensaio da série EN ISO 10545 a determinação das características dimensionais e das propriedades físicas e químicas dos ladrilhos cerâmicos, que se apresentam na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Características exigidas aos ladrilhos cerâmicos – Normas de ensaio [8]

	<i>Características</i>	<i>Norma de Ensaio</i>
Dimensões e qualidade superficial	Comprimento e largura	ISO 10545-2 [41]
	Espessura	
	Rectilinearidade das arestas	
	Planaridade (curvatura e empeno)	
	Qualidade superficial	
Propriedades físicas	Absorção de água	ISO 10545-3 [42]
	Resistência à flexão	ISO 10545-4 [43]
	Módulo de rotura	ISO 10545-4 [43]
	Resistência à abrasão profunda	ISO 10545-6 [45]
	Resistência à abrasão superficial	ISO 10545-7 [46]
	Dilatação térmica linear	ISO 10545-8 [47]
	Resistência ao choque térmico	ISO 10545-9 [48]
	Resistência à fendilhagem	ISO 10545-11 [50]
	Resistência ao gelo	ISO 10545-12 [51]
	Expansão por humidade	ISO 10545-10 [49]
	Pequenas diferenças de cor	ISO 10545-16 [55]
	Resistência ao impacto	ISO 10545-5 [44]
Propriedades químicas	Resistência às manchas	ISO 10545-14 [53]
	Resistência a ácidos e bases em baixas concentrações	ISO 10545-13 [52]
	Resistência a ácidos e bases em baixas concentrações	ISO 10545-13 [52]
	Resistência aos produtos químicos e aditivos para a água de piscinas	ISO 10545-13 [52]
	Libertação de chumbo e cádmio	ISO 10545-15 [54]

### **3.2.2.5. *Matérias-Primas e Processos de Fabrico***

No fabrico de ladrilhos cerâmicos utiliza-se a mistura de várias matérias-primas inorgânicas de natureza argilosa, tais como, a argila, o caulino e fundentes, a areia e o feldspato.

Os ladrilhos cerâmicos podem apresentar três tipos de acabamento:

- Natural;
- Polido;
- Vidrado.

Para obter o acabamento do tipo vidrado são necessárias matérias-primas tais como os vidros e os corantes. Os ladrilhos deste tipo, com acabamento vidrado, são normalmente decorados.

O processo de fabrico dos ladrilhos cerâmicos é sequencial. Inicia-se com a preparação das matérias-primas seguidas da conformação, secagem e subsequentemente da cozedura.

A primeira fase do processo, a preparação, implica o armazenamento e a dosagem das matérias-primas a granel. Nesta mesma fase, depois de doseados, as argilas, os fundentes e os inertes (areias) passam por um processo de mistura e redução da granulometria, por moagem ou laminagem.

A preparação das matérias-primas para a conformação por prensagem é diferente da preparação necessária para o fabrico por extrusão. Assim, na preparação que antecede a prensagem os materiais fundentes são moídos em moinhos rotativos e horizontais. Reduz-se a granulometria dos materiais até ao grau de finura desejado. As argilas são diluídas em tanques, peneiradas e misturadas ao material moído. À mistura resultante dá-se o nome de barbotina. Depois de homogeneizada a barbotina, evapora-se a sua água em atomizadores. O pó recolhido, o pó atomizado, é armazenado em silos.

No processo de conformação por prensagem (Figura 3.7) o pó atomizado é prensado em prensas hidráulicas isostáticas. As dimensões, formato e efeitos desejados obtêm-se pela utilização de cunhos adequados e adaptados à prensa.

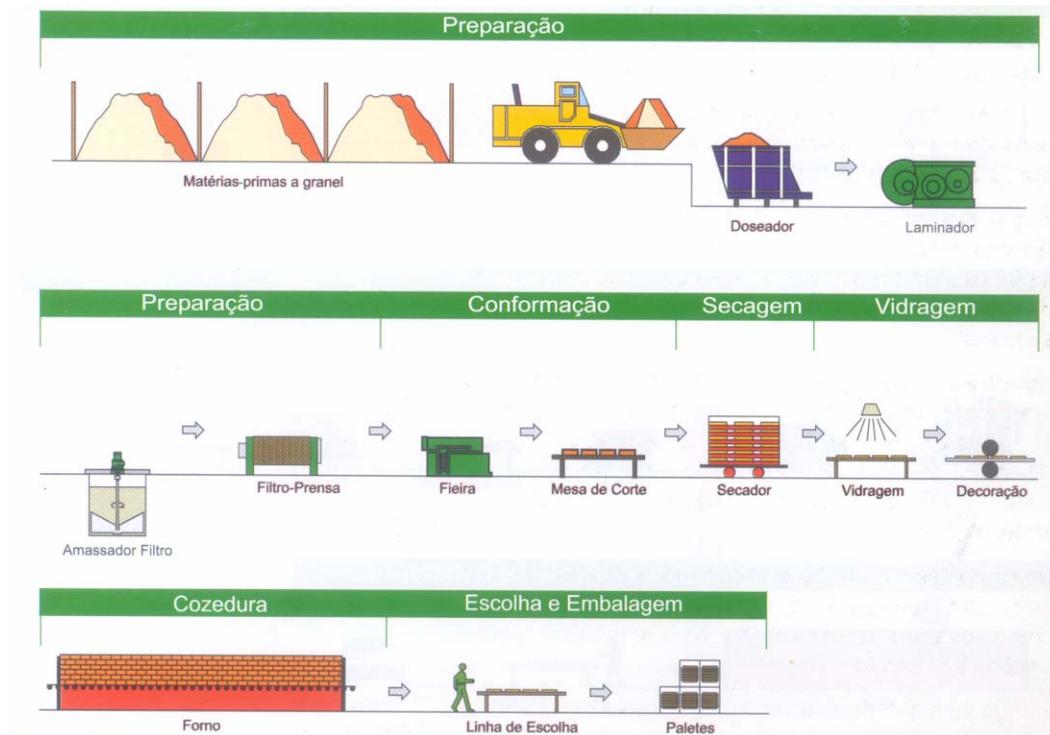


Figura 3.7: Ilustração esquemática do processo de fabrico – Conformação por prensagem

Na preparação que antecede a conformação por extrusão (Figura 3.8) as matérias-primas a granel e doseadas passam pelo laminador onde se dá o processo de mistura e redução da granulometria.

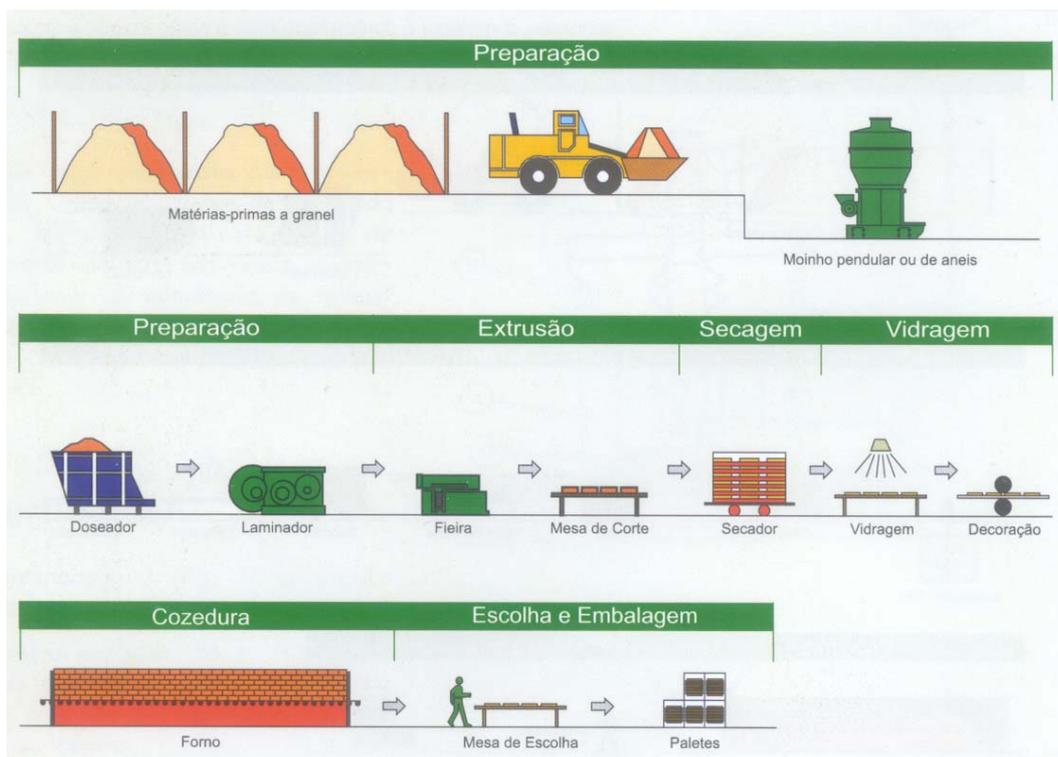


Figura 3.8: Ilustração esquemática do processo de fabrico – Conformação por extrusão

No processo de extrusão por via seca, o pó resultante é amassado e humedecido dando origem a uma pasta. Esta pasta é extrudida em frieiras na espessura desejada.

Na extrusão com preparação por via semi-húmida, após a mistura e antes de se iniciar a amassadura, adiciona-se água ao pó resultante da mistura. Antes de passar nas frieiras a pasta assim obtida é filtrada no filtro de prensa.

Após a conformação, por prensagem ou extrusão, os produtos passam por secadores a temperaturas entre os 100 e os 150°C.

Em seguida pode dar-se ou não a vidragem. Os produtos, vidrados ou não, são cozidos a temperaturas superiores a 1100°C em fornos contínuos de rolos, durante cerca de 45 a 90 minutos.

Após a cozedura, os produtos são escolhidos em linhas. Nesta operação, os produtos são classificados quanto à existência de defeitos visuais ou dimensionais. Os ladrilhos são classificados consoante o tipo de defeitos encontrados. Segundo o estabelecido na norma EN 14411 [38] os ladrilhos podem ser classificados como sendo de 1ª ou 2ª escolha, em que a primeira não tem defeitos visíveis e a segunda apresenta pequenos defeitos que não prejudicam a aplicação e o desempenho. Os produtos acabados são escolhidos, separados e embalados.

#### ***3.2.2.6. Controlo de Qualidade***

O controlo de qualidade dos ladrilhos cerâmicos requer equipamentos adequados e operadores qualificados.

O controlo de qualidade dos produtos é uma actividade diária que se inicia com a selecção e controlo das matérias-primas antes da sua entrada na produção, passa pelo controlo do produto em fase do processo de fabrico e termina no produto final acabado.

##### **a) Controlo das matérias-primas:**

O controlo das matérias-primas é, normalmente, efectuado no acto de recepção que antecede a sua entrada no processo de produção. Este controlo de qualidade serve para prevenir a ocorrência de problemas durante a fase do processo de fabrico e no produto final. A Tabela 3.4 apresenta alguns dos ensaios que são realizados regularmente na recepção das matérias-primas.

Tabela 3.4: Controlo de recepção de matérias-primas [8]

<i>Matérias Primas</i>	<i>Ensaios</i>	<i>Periodicidade</i>
Argilas e Caulinos	Aspecto visual	Recepção do lote
	Granulometria	
	Retracção após secagem e cozedura	
	Cor após cozedura	
	Absorção de água após cozedura	
	Resistência mecânica após cozedura	
Feldspato	Resíduo	Recepção do lote
	Fusibilidade	
	Cor após cozedura	
Areia	Resíduo	Recepção do lote
Vidros	Dilatometria	Recepção do lote
	Cor	

b) Controlo em fase do processo de fabrico:

O controlo de qualidade deve acompanhar as várias etapas intermédias do processo de fabrico. Desta forma é possível evitar que produtos não conformes avancem no processo de fabrico e também é possível corrigir atempadamente qualquer desvio eventualmente detectado.

A Tabela 3.5 apresenta alguns dos ensaios que são vulgarmente realizados nas diferentes fases do processo de fabrico.

Tabela 3.5: Controlo em diferentes fases do processo de fabrico [8]

<i>Produto em Fase de Processo</i>	<i>Ensaios</i>	<i>Periodicidade</i>
Pasta	Aspecto Visual	Semanal
	Resíduo ao Peneiro	
	Retracção após secagem e cozedura	
	Absorção de água após cozedura	
	Resistência mecânica após cozedura	
Barbotina	Densidade	Diária
	Viscosidade	
	Resíduo	
Pó Atomizado	Granulometria	Horário
	Humidade	
Prensado	Dimensões, espessura e densidade aparente	Horário / Diário
	Resistência mecânica	
Seco	Humidade	Horário
Vidro, Engobe	Densidade	Horário
	Viscosidade	
Vidrado	Gramagem	Horário
Cozido	Dimensões	Contínuo (automático)

c) Controlo do produto final:

O produto final passa também pelo controlo de qualidade a fim de garantir o cumprimento das especificações aplicáveis e evitar a colocação no mercado de produtos não conformes.

A Tabela 3.6 apresenta alguns dos ensaios normalmente realizados para o controlo do produto final.

Tabela 3.6: Ensaios para o controlo do produto final [8]

<i>Produto Final</i>	<i>Ensaios</i>	<i>Periodicidade</i>
Pavimentos/Revestimentos	Resistência mecânica	Diária
	Absorção de água	
	Dimensões, espessura, empeno	
Revestimentos	Fendilhagem	Semanal
Pavimentos	Abrasão	Semanal
Pavimentos	Impacto	Mensal
Pavimentos/Revestimentos	Resistência aos químicos e manchas	Mensal
Pavimentos/Revestimentos	Gelo/Degelo	Anual

### 3.2.3 Elementos de fixação – Cimentos-cola

#### 3.2.3.1. Definição

A Norma Europeia EN 12004 – *Adherives for tiles – Definitions and Specifications* [56], define os cimentos-cola da seguinte forma:

- *Mistura de ligantes hidráulicos, inertes e aditivos orgânicos. O cimento-cola é misturado com água ou outro líquido imediatamente antes da aplicação.*

No guia de uma das empresas fabricantes do produto [118] pode ler-se a seguinte definição para os cimentos-cola:

- *Cola à base de cimento cinza ou branco, inertes de granulometria compensada e aditivos que melhoram a retenção de água, plasticidade e aderência.*

Em alguns documentos técnicos utilizam-se termos como argamassa adesiva ou argamassa colante para designar os cimentos-cola. No entanto, o termo adesivo é utilizado de forma genérica nas especificações da EN 12004 [56], que utiliza o termo *adhesives for tiles* não só para as argamassas à base de cimento, como também para os *adesivos de dispersão* e para os *adesivos de resinas reactivas*<sup>1</sup>. *Cementitious adhesives* é o termo específico utilizado na designação dos cimentos-cola.

O termo adesivo é também utilizado pela UEAtc [57] que apelida o cimento-cola de *hydraulically harding adhesives*. Os franceses utilizam, porém, o termo *mortier colle* que é semelhante à designação portuguesa cimento-cola, ou à *argamassa-colante*, designação utilizada na normalização brasileira.

Na Alemanha utiliza-se o termo *Dunnettmortel* para denominar a argamassa de endurecimento hidráulico.

---

<sup>1</sup> Nota: Segundo a norma EN 12004 [56] os adesivos para fixação de ladrilhos cerâmicos estão divididos em três tipos de acordo com a sua composição química. Os cimentos-cola são os adesivos de base cimentícia e, para os quais já se apresentou a definição correspondente. Os adesivos de dispersão e os adesivos de resinas reactivas, apresentam, na mesma norma, as seguintes definições:

- *Adesivo de dispersão* – mistura orgânica de agentes de fixação, composto por um polímero aquoso em dispersão, aditivos orgânicos e cargas minerais. A mistura está pronta a usar.
- *Adesivo de resinas reactivas* – mistura de resinas sintéticas, cargas minerais e aditivos orgânicos na qual a presa é obtida por reacção química. Estão disponíveis em várias formas.

### 3.2.3.2. *Enquadramento Normativo*

a) Comité Européen de Normalisation – CEN

A classificação apresentada na norma EN 12004 [56] distingue três tipos de adesivos, para ladrilhos cerâmicos e pedras naturais, em função da sua composição química. Os cimentos-cola, com composição química à base de cimento são do tipo C (C = base de cimento), os adesivos em dispersão são do tipo D (D = dispersão) e os adesivos à base de resinas reactivas são do tipo R (R = resinas reactivas).

Segundo a mesma norma, cada tipo está subdividido em classes de acordo com as suas características específicas, isto é, características fundamentais, que os adesivos têm necessariamente que ter. Estas características fundamentais estão divididas nas Classes 1 e 2. As características opcionais, propriedades importantes apenas para utilizações e aplicações especiais, dividem-se em 3 classes distintas: Classes F, T e E (Tabela 3.7).

Tabela 3.7: Classes dos adesivos para ladrilhos e pedras naturais segundo a norma EN 12004 [56]

<i>Características Fundamentais</i>
<b>1</b> – normal
<b>2</b> – melhorada
<i>Características Opcionais</i>
<b>E</b> – tempo de abertura alargado
<b>F</b> – presa rápida
<b>T</b> – resistência ao deslizamento vertical

As classes fundamentais, 1 e 2, podem ser combinadas com todas as outras classes, E, F ou T. Por exemplo, a Classe 1E (ou C1E, para os cimentos-cola) designa um adesivo normal e com tempo de abertura alargado, enquanto que a classe 2FT designa um adesivo melhorado, com presa rápida e com elevada resistência ao deslizamento vertical.

Os requisitos especificados pela CEN são: o tempo de abertura; a resistência de aderência à tracção nas condições de cura ao ar, após imersão em água, após acção do calor e depois de ciclos de gelo-degelo; a deformação transversal e a resistência ao deslizamento. Os critérios são separados em características fundamentais e características opcionais e dependem da classe da argamassa e do requisito especificado (§ 3.2.3.4).

b) Union Européen pour L'agrément Technique dans la construction – UEAtc

A UEAtc (1990), para além dos cimentos-cola, refere-se aos adesivos de dispersão, aos adesivos à base de resinas reactivas e a argamassas à base de cimento com adição de caseína.

Os cimentos e adesivos estão classificados de acordo com a sensibilidade à acção da água sendo estabelecidos diferentes tipos de argamassas para cada grau de sensibilidade à água. Esta classificação distingue as seguintes 3 classes:

- Classe A – correspondente às colas que apresentam uma grande sensibilidade à água, do ponto de vista da sua adesividade/coesão.
- Classe B – correspondente às colas que apresentam uma sensibilidade moderada à água do ponto de vista da adesividade/coesão. Esta característica de adesividade/coesão pode ser moderadamente afectada após a humedificação do produto, mas retoma praticamente os valores iniciais após a secagem.
- Classe C – correspondente às colas que não apresentam praticamente sensibilidade à humidade. Um ligeiro decréscimo da adesividade/coesão pode ser observado para uma grande variação de humidade, mas a cola recupera completamente as suas características iniciais após a secagem.

As argamassas à base de cimento enquadram-se na Classe C, isto é, apresentam baixa sensibilidade à acção da água. Dentro desta classe distinguem-se ainda dois tipos em função da aplicação.

O tipo comum, denominado de endurecimento hidráulico, e o tipo modificado, que se refere à argamassa com polímeros incorporados, na forma de látex – bicomponente, ou na forma de pó redispersível – monocomponente.

Além destes dois tipos a UEAtc define um tipo de argamassa específico para pisos e outro de presa rápida, que apresentam características especiais.

Em resumo, esta norma especifica como requisitos a determinação da resistência de aderência à tracção em condições de cura ao ar, após imersão em água, após a acção do calor (estufa) e após ciclos de gelo-degelo e resistência ao corte em condições de cura ao ar e em estufa, tempo de abertura, deformação transversal, resistência ao deslizamento, tempo de presa, plasticidade (consistência), retracção, resistência ao impacto, resíduo em peneira, perda de massa, retenção de água, vida útil e tolerância da água de amassadura.

c) Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB

O CSTB, na publicação do Cahier 3264 [58], subdivide, tal como na Norma Europeia EN 12004 [56], os cimentos-cola em classes, fundamentais e opcionais. No entanto, considera 3 classes fundamentais e 4 opcionais (Tabela 3.8).

Tabela 3.8: Classes dos cimentos-cola segundo o *Cahier du CSTB 3264*

<i>Características Fundamentais</i>	
<b>1</b>	normal
<b>2</b>	melhorado
<b>2S</b>	melhorado e deformável
<i>Características Opcionais</i>	
<b>E</b>	tempo de abertura alargado
<b>F</b>	presa rápida
<b>T</b>	resistência ao deslizamento vertical
<b>G</b>	Consistência (fluidez)
	Classes não admissíveis em revestimentos exteriores de paredes.

Uma cola melhorada, classe C2, apresenta, após o endurecimento, uma *aderência* e uma *resistência ao corte* mais elevadas do que um cimento-cola normal, classe C1.

Um cimento-cola melhorado e deformável, classe C2S, é um cimento-cola da classe C2 que apresenta também características melhoradas de *deformação transversa*.

Segundo o *Cahier du CSTB 3264* [58], em revestimentos exteriores de paredes só os cimentos das classes C2 e C2S são admitidos.

As características opcionais, influentes no comportamento do produto durante a sua utilização, podem complementar as características fundamentais. Estas características opcionais contribuem no seguinte:

- Um produto com a característica opcional E apresenta, tal como a sua definição indica um *tempo aberto* alargado, ou seja, apresenta um *tempo de ajustabilidade* alargado;
- Um produto com a característica opcional T é utilizado sempre que se pretenda reduzir ou limitar o deslizamento vertical dos ladrilhos cerâmicos desde o momento em que são aplicados até ao momento de *presa* do cimento-cola;
- Um cimento-cola F é caracterizado pelo seu endurecimento rápido – *tempo de presa* rápido;

- Um produto G é um produto fluido com menor *viscosidade*. Esta característica pode ser avaliada pela *transferência* de cola sobre o ladrilho.

Os cimentos-cola fluidos, G, não são adequados para aplicações em paredes (aplicações verticais).

Todas as características dos cimentos-cola, apresentadas neste parágrafo a *itálico* estão definidas no parágrafo correspondente à caracterização dos cimentos-cola (§ 3.2.3.3).

d) British Standards Institutions – BSI

Para além dos cimentos-cola a norma BS 5980 (BSI, 1980) [104] refere-se aos adesivos de dispersão (tipo 2), aos adesivos à base de pasta de resina (tipo 4) e aos adesivos à base de resinas reactivas (tipo 5), utilizados no assentamento de ladrilhos cerâmicos.

Os tipos de argamassas e a sua classificação baseiam-se na resistência à acção da água.

Tal como no *Cahier* 2435 [57] distinguem-se três níveis de sensibilidade à humidade, mas neste caso com as seguintes designações:

- Nível AA – desenvolvimento rápido de resistência à água;
- Nível A – desenvolvimento lento de resistência à água;
- Nível B – não requer resistência à água.

Embora a classificação das argamassas e adesivos esteja apresentada em função da sensibilidade à água e a partir dela se indique o tipo de cura a realizar nos ensaios de aderência e de resistência ao corte, a utilização de determinado grau de sensibilidade à água é de uso arbitrário. Pois, ao contrário do que acontece na norma da UEAtc, não existe, nesta, uma especificação relativa às condições de utilização necessárias para um determinado grau de sensibilidade à acção da água.

Os requisitos mencionados nesta norma são a resistência de aderência à tracção e ao corte nas condições de cura ao ar e após imersão em água, com critérios distintos para cada classe de argamassa, tempo de abertura, resistência à deformação específica e a resistência ao desenvolvimento de fungos que apresentam critérios comuns em todas as classes de argamassas.

e) Deutsches Institut fur Normung – DIN

A norma DIN 18.156 – 2 [106] (DIN, 1978) refere-se apenas ao cimento-cola, portanto, aos adesivos à base de cimento portland e apresenta uma classe única de argamassa.

Os requisitos específicos são: a resistência de aderência à tracção com cura ao ar, após imersão, após a acção do calor e após ciclos de gelo-degelo; tempo de formação da película; tempo de abertura; deslizamento; plasticidade; resíduo em peneira e perda de massa. Estabelece ainda um método de ensaio para a determinação da resistência de aderência ao corte, sem o respectivo critério de desempenho.

f) American National Standards Specifications – ANSI

As normas A118.1 [108] e A118.4 [109] (ANSI, 1999) referem-se às argamassas à base de cimento. Distinguem-se dois tipos em função da sua composição:

- O tipo comum é denominado *dry set mortar* e é empregue apenas com adição de água.
- O tipo modificado com polímeros é denominado *Látex-Portland cement mortar* e refere-se às argamassas com polímeros incorporados na forma de látex – bicomponentes, ou na forma de pó redispersível – monocomponente.

Na definição de argamassa do tipo comum, a norma descreve como principal requisito a capacidade de retenção de água, mas não o especifica. Do mesmo modo, a redução da absorção de água, também não é especificada, embora conste na definição da argamassa modificada com polímeros.

Para os dois tipos de argamassas são ainda especificadas classes com requisitos especiais como a argamassa de presa rápida e a argamassa com resistência ao deslizamento vertical.

Para ambos os tipos são especificados os requisitos para a resistência de aderência ao corte, com cura ao ar e após imersão em água, o tempo de abertura, o tempo de presa, o tempo de correcção, o deslizamento e coesão iniciais e a resistência à compressão (só para a argamassa modificada com polímeros).

Na Tabela 3.9 apresenta-se o resumo da classificação dos cimentos-cola segundo o panorama normativo correspondente ao país ou comunidade económica de origem do produto.

Tabela 3.9: Enquadramento normativo dos Cimentos-cola.

<i>Norma</i>	<i>Tipo</i>	<i>Classe</i>	<i>Descrição e características principais</i>	
União Europeia	EN 12004	C - Argamassas à base de cimento	1	Cimento-cola normal
			1F	Cimento-cola de presa rápida
			1T	Cimento-cola resistente ao deslizamento
			1FT	Cimento-cola de presa rápida e resistente ao deslizamento
			2	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas
			2E	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas e com tempo aberto alargado
			2F	Cimento-cola de presa rápida com propriedades específicas melhoradas
			2T	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas resistente ao deslizamento
			2TE	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas resistente ao deslizamento e com tempo aberto alargado
		2FT	Cimento-cola de presa rápida com propriedades específicas melhoradas, resistente ao deslizamento	
Europa	UEAtc	C – baixa sensibilidade à acção da água	Endurecimento hidráulico	Uso interno e externo em paredes e pisos
			Modificado com polímeros	Uso interno e externo, características melhoradas
			Especial para pisos	Melhorada para uso em camada espessa em pisos
			Presa rápida	Desenvolvimento rápido de resistência
FR	CSTB	Classificação semelhante à da norma EN 12004. Considera mais uma classe fundamental, a classe 2S, e mais uma característica opcional, a fluidez – G (ver Tabela 3.8).		
Reino Unido	BS 5980	1) Comum 2) Modificada com polímeros em dispersão	AA	Desenvolvimento rápido de resistência à água
			A	Desenvolvimento lento de resistência à água
			B	Não requer resistência à água
AL	DIN 18.156-2	Endurecimento hidráulico	Não específica	Uso geral
Estados Unidos	A118.1	Comum	Normal	Retenção de água
			Presa rápida	Desenvolvimento rápido de resistência
			Anti-deslizante	Deslizamento 0
	A118.4	Modificado com polímero	Normal	Maior resistência de aderência ao corte
			Presa rápida	Desenvolvimento rápido de resistência
			Anti-deslizante	Deslizamento 0

### 3.2.3.3. Características

No Dicionário Técnico de Argamassas Europeias – EMOdico [21], documento produzido pela EMO – *European Mortar Industry Organization*, apresentam-se as definições dos diferentes tipos de argamassas, as suas características de aplicação e as suas prestações finais.

As propriedades de aplicação, referentes a argamassas frescas, são as seguintes:

- Trabalhabilidade – Conjunto de propriedades de aplicação de uma argamassa, que caracterizam a sua adequação ao uso. [EN 1015-9]
- Ar incluído – Quantidade de ar contido numa argamassa. [EN 1015-7]
- Consistência – Fluidez de uma argamassa fresca. [EN 1015-3 e EN 12706]
- Tixotropia – Variação da consistência de uma argamassa em pasta, por acção de um movimento ou força de agitação.
- Auto-regularização – Capacidade de uma argamassa fluida fresca para formar naturalmente uma superfície lisa.
- Autonivelamento – Capacidade de uma argamassa fresca de se espalhar sobre si mesma até formar uma superfície plana.
- Poder Molhante – Aptidão da argamassa fresca para molhar o suporte ou material associado, facilitando a aderência. [EN 1347]
- Tempo de Armazenamento (Validade) – Período de tempo durante o qual uma argamassa, armazenada em condições definidas, conserva as suas propriedades de aplicação. [EN 12004]
- Tempo de Repouso (Maturação) – Intervalo de tempo entre a preparação da argamassa e o momento em que esta deve ser aplicada. [EN 12004]
- Tempo de Vida – Período de tempo, após a amassadura, durante o qual a argamassa é utilizável. [EN 1015-9]
- Tempo Aberto – Intervalo de tempo máximo para o acabamento, desde o momento da aplicação de uma argamassa. [EN 1346 e EN 12189]
- Tempo de Ajustabilidade – Intervalo de tempo máximo durante o qual se pode corrigir a aplicação de uma argamassa, sem perdas significativas das suas propriedades mecânicas. (Por exemplo correcção da posição de azulejos e peças cerâmicas depois de aplicadas). [EN 1015-9 e EN 12004]

- Tempo de Presa – Intervalo de tempo a partir do qual a argamassa começa a endurecer. A partir deste momento a argamassa torna-se pouco sensível à água. [EN 1015-4]
- Tempo de Endurecimento – Intervalo de tempo necessário para que uma argamassa desenvolva a sua resistência. Na prática corresponde ao tempo necessário à utilização em serviço.
- Compactação – Processo manual ou mecânico para aumentar a densidade de uma argamassa fresca. [EN 13318]
- Retenção de Água – Capacidade de uma argamassa hidráulica fresca para reter a água de amassadura, quando exposta à sucção do suporte, permitindo o seu endurecimento normal. [EN 1015-8]

As prestações finais, ou características finais, respeitantes às argamassas endurecidas, são as seguintes:

- Durabilidade – Resistência da argamassa a diferentes condições químicas, mecânicas e climáticas, que asseguram o seu desempenho ao longo do tempo de vida útil.
- Porosidade – Relação entre o volume de poros existentes na argamassa e o seu volume total. [EN 1015-7]
- Capilaridade – Capacidade que uma argamassa tem de absorver água, de forma natural, sem se exercer pressão. (Não há relação entre a porosidade e a capilaridade). [EN 1015-18 e EN 13888]
- Impermeabilidade – Capacidade de uma argamassa para impedir a penetração de água, sob uma determinada pressão.
- Permeabilidade ao vapor de água – Fluxo de vapor de água que atravessa a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor. [EN 1015-19]
- Deformabilidade – Capacidade de uma argamassa endurecida para ser deformada por meio de tensões, sem destruição da sua estrutura. (Esta característica pode ser avaliada pelo módulo de elasticidade, que pode ser medido em condições dinâmicas ou estáticas). [ISO 5271 +2]
- Deformação transversal – Flexão registada no centro de um provete de argamassa, submetido a uma carga em três pontos. [EN 12002]
- Aderência – Força máxima de rotura, por unidade de superfície, de uma argamassa, aplicada sob um suporte, que pode ser determinada por aplicação de uma força de tracção ou corte.

- Resistência à tracção – Capacidade (da superfície) da argamassa para resistir a uma força de tracção aplicada perpendicularmente à sua superfície. [EN 1348, EN 1015-2 e EN 12636]
- Resistência ao corte – Resistência determinada pela aplicação de uma força exercida paralelamente ao plano de aderência. [EN 1322 e EN 12615]
- Rotura adesiva – Rotura que ocorre na interface entre a argamassa e o suporte, ou material, associado. (O valor obtido equivale à aderência).
- Rotura coesiva – Rotura que ocorre no interior da argamassa (a resistência desta é inferior à do suporte), ou rotura que ocorre no suporte (onde a resistência da argamassa é superior à do suporte).
- Resistência à flexão – Tensão de rotura de uma argamassa, determinada pela aplicação de uma força de flexão em três pontos. [EN 1015-11 e EN 13888]
- Resistência à compressão – Valor de rotura de uma argamassa, determinado através da aplicação de uma força de compressão em dois pontos opostos. [EN 1015-11 e EN 13888]
- Retracção – Redução do volume de uma argamassa, sem suporte, durante o seu endurecimento. [EN 12808-4]
- Resistência à abrasão – Resistência ao desgaste da superfície de uma argamassa endurecida, por acção mecânica. [ISO 7784-2 e EN 12808-2]
- Rugosidade – Característica da textura da superfície de uma argamassa.
- Dureza superficial – Resistência da superfície de uma argamassa endurecida, à penetração de uma bola de aço submetida a uma carga.
- Condutibilidade térmica – Valor da característica térmica ( $\lambda$ ) de uma argamassa em pó. (Este valor está relacionado com a densidade da argamassa endurecida). [EN 1745]

#### **3.2.3.4. Ensaios**

Um produto apresenta um conjunto de características mensuráveis que, sendo indicativos das suas propriedades, devem ser avaliadas de acordo com normas e especificações adequadas. A avaliação destas características servirá de base à classificação dos produtos.

O CEN – *Comité Européen de Normalisation* desenvolveu um conjunto de normas de ensaio específico para avaliação e qualificação adequada de cada um dos tipos de colas.

Nas Tabelas 3.10 e 3.11 apresentam-se, para cada classe de cimentos-cola, as características e os respectivos requisitos mínimos que devem satisfazer, assim como a norma de ensaio que permite a sua avaliação. A classificação seguida foi a utilizada na regulamentação técnica de certificação do CSTB.

Tabela 3.10: Características fundamentais dos cimentos-cola, requisitos e normas de ensaio

<i>Características Fundamentais</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C2S</i>	<i>Método de Ensaio</i>
Aderência inicial [MPa]	0,5	1		EN 1348
Aderência após imersão em água [MPa]	0,5	0,8		EN 1348
Aderência após acção do calor [MPa]	0,3	1		EN 1348
Aderência após acção do gelo-degelo [MPa]	0,5	0,8		EN 1348
Aderência: tempo de abertura > 20 min [MPa]	0,4	0,5		EN 1346
Resistência inicial ao corte [kN]		5		Regulamentação Técnica
Resistência ao corte após acção do calor [kN]		5		Regulamentação Técnica
Deformação transversal [mm]			3	EN 12002

Nota: Tabela adaptada do documento do CSTB – Cahier 3264 [58].

Tabela 3.11: Características opcionais dos cimentos-cola, requisitos e normas de ensaio

<i>Características Opcionais</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C2S</i>	<i>Método de Ensaio</i>
E e F				
Aderência: tempo de abertura > 30 min [MPa]	0,5			EN 1346
T				
Aderência às 24h [MPa]	0,5			EN 1346
Aderência: tempo de abertura ≥ 10 min depois de DPU ≥ 20 min [MPa]	0,4	0,5		EN 1346
G				
Resistência ao deslizamento [mm]	≤ 1			EN 1308

Nota: Tabela adaptada do documento do CSTB – Cahier 3264 [58].

### 3.2.4 Suporte

#### 3.2.4.1. Definição

Os suportes para sistemas de revestimento cerâmicos são definidos em função da natureza dos seus materiais constituintes apresentam-se na Tabela 3.12.

Tabela 3.12: Definição dos suportes em função dos materiais constituintes [8]

<i>Natureza dos Suportes</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Documentos de referência</i>
Paredes de betão ou painéis prefabricados em betão:		
- acabamento corrente;	S <sub>1</sub>	NF P 18-210-1
- acabamento cuidado.	S <sub>2</sub>	NF P 10-210-1
Rebocos à base de cimento sobre paredes de betão ou paredes de alvenaria:		
- argamassa de cimento;	S <sub>3</sub>	NF P 15-210-1
- argamassa bastarda;		
- impermeabilização.		
Rebocos de gesso sobre paredes de alvenaria:		
- dureza Shore C mínima de 40;	S <sub>4</sub>	NF B 12-301
- dureza Shore C mínima de 60.	S <sub>5</sub>	NF P 71-201
Placas de paramento em gesso não hidrofugado (faces cartonadas):		NF P 12-302
- com isolamento térmico associado;	S <sub>6</sub>	NF P 72-203-1
- paramentos simples de paredes.		NF P 72-204-1
Placas de paramento em gesso hidrofugado.	S <sub>7</sub>	
Divisórias em blocos de gesso correntes	S <sub>8</sub>	NF P 72-301 NF P 72-202
Divisórias em blocos de gesso hidrofugado	S <sub>9</sub>	-
Divisórias em blocos de gesso hidrofugado especial	S <sub>10</sub>	-
Divisórias em elementos cerâmicos à vista (não rebocados):		-
- executados com ligante-cola à base de gesso;	S <sub>11</sub>	
- executados com ligante-cola à base de cimento.	S <sub>12</sub>	
Paredes de alvenaria de blocos de betão celular à vista:		NF P 14-306
- executados com ligante-cola à base de cimento.	S <sub>13</sub>	NF P 10-202

Os suportes visados para a colagem de ladrilhos cerâmicos a paramentos exteriores de paredes são apenas três, os do tipo S1, S2 e S3.

Assim apenas se consideram os seguintes suportes: betão ou alvenaria com reboco de elevada rigidez. Os rebocos podem ser dos seguintes tipos [8]:

- Emboço sobre chapisco, aplicados manualmente, ou reboco projectado em duas camadas, com uma dosagem em ligantes não inferior a 350 kg por m<sup>3</sup> de areia seca, sendo a dosagem em cimento de, pelo menos, 250 kg/m<sup>3</sup>;
- Monomassas (rebocos de impermeabilização pré-doseados) com módulo de elasticidade pertencente à classe E4 (módulo de elasticidade, aos 28 dias, compreendido entre 7500 e 14000 Mpa) ou superior e resistência à tracção pertencente, pelo menos, à classe R4 (resistência à tracção por flexão, aos 28 dias, compreendida entre 2,0 e 3,5 Mpa).

#### **3.2.4.2. Classificação segundo a sensibilidade à humidade**

Distinguem-se os seguintes três graus de exposição das paredes à água:

- Grau EA – correspondente aos paramentos secos ou pouco húmidos, por exemplo: paredes de locais de circulação. O agente água não é mais do que um interveniente, no que respeita às acções de manutenção e limpeza;
- Grau EB – correspondente às paredes moderadamente húmidas. É o caso das paredes de certos locais sujeitas às solicitações de água consideradas como limitadas, por exemplo: junto ao lava-louça da cozinha, junto aos lavabos ou junto à banheira). O agente água intervém sob a forma de água líquida projectada de maneira mais ou menos momentânea;
- Grau EC – correspondente às paredes muito húmidas, por exemplo: cabinas de chuveiro em locais de utilização colectiva e cozinhas de utilização colectiva). O agente água intervém sob a forma de água líquida ou vapor de água activo de forma prolongada.

A importância da humedificação da parede é definida por:

- Intensidade da solicitação (moderada ou não);
- Frequência da solicitação (intervenção ocasional, regular ou até mesmo sistemática).

O agente água pode intervir sob a forma líquida ou sob a forma de vapor.

Distinguem-se as seguintes três classes de sensibilidade do suporte S em função da humidade (ver Tabela 3.13):

- Classe  $S_A$  – correspondente aos suportes que apresentam uma grande sensibilidade à água do ponto de vista da sua durabilidade intrínseca, por exemplo: painéis com colagem sensível à humidade, rebocos em gesso natural cuja coesão em função dos ciclos de humidade/secagem pode variar de maneira continuamente decrescente;
- Classe  $S_B$  – correspondente a suportes que não apresentam mais do que uma sensibilidade moderada à água do ponto de vista da sua durabilidade intrínseca, por exemplo: certos rebocos à base de gesso natural modificados cuja coesão, em função dos ciclos de humidificação/secagem, apresentam-se estabilizados a um nível aceitável; certos painéis de partículas com colagem melhorada (ureia, melanina, fenólica) tratadas contra os fungos, e mais a protecção da penetração normal da água pela cola ou por uma preparação adequada;
- Classe  $S_C$  – correspondente aos suportes que não apresentam sensibilidade à água do ponto de vista da sua durabilidade intrínseca, por exemplo: betão ou rebocos de argamassa de cimento.

Tabela 3.13: Descrição das classes de sensibilidade do suporte S em função da humidade [60]

<i>Classes</i>	<i>Descrição</i>
$S_A$	Suportes que apresentam grande sensibilidade à água.
$S_B$	Suportes que apresentam sensibilidade moderada à água.
$S_{B+}$ (locais privados) $S_{B+}$ (locais públicos)	Suportes que apresentam sensibilidade reduzida à água, em relação aos suportes classificados de $S_B$ .
$S_C$	Suportes que não apresentam sensibilidade à água.

Os suportes adequados à colagem dos ladrilhos cerâmicos, dos tipos  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , não apresentam sensibilidade à água. Inserindo-se, portanto, na classe de sensibilidade  $S_C$ .

### **3.2.4.3. Controlo de qualidade**

Os critérios em análise para o controlo de qualidade de um suporte dependem da utilização desejada, do tipo de revestimento que se quer aplicar e da sua exposição. Assim, para a aplicação de um revestimento cerâmico as características fundamentais que um suporte deve apresentar estão associadas às que garantam a qualidade final do sistema: revestimento cerâmico/suporte. Para além das exigências atrás referidas, o suporte adequado a um revestimento cerâmico aderente deve apresentar-se

perfeitamente limpo, livre de poeiras ou de substâncias que prejudiquem a adesão, plano e coeso.

Assim, a qualidade da colagem é influenciada pelas características do suporte a revestir, nomeadamente pela sua idade, constituição ou estado da superfície. O material constituinte condiciona a absorção de água e a interacção química com a cola. O estado da superfície do suporte engloba conceitos como a planeza, a rugosidade, a coesão, ou o estado de limpeza [8].

### **3.3 O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO**

#### **3.3.1 Significado da marcação CE**

A marcação CE é obrigatória e necessária para a circulação de determinados produtos dentro do Espaço Económico Europeu. A marcação CE é um sistema de comprovação da conformidade dos produtos marcados com *Requisitos Essenciais* – RE, indicados na directiva aplicável.

As bases de implementação da marcação CE nos produtos da construção estão publicadas na Directiva Europeia 89/106/CE [24]. Esta directiva representa, portanto, o documento legal que institui a Marcação CE para os Produtos da Construção.

Conhecida pela sigla CPD – *Construction Products Directive*, é uma Directiva Nova Abordagem, de conteúdo técnico baseado em referências normativas. É um motor da Normalização Europeia, ao promover cerca de 650 novas normas para sua integral aplicação, pensada como forma de eliminar entraves às trocas comerciais destes produtos no Mercado Comunitário [67].

A CPD responsabiliza quem coloca estes produtos no mercado: o seu produtor é responsável pela demonstração da conformidade dos produtos com os *Requisitos Essenciais* (Anexo I da CPD), referentes a características exigíveis às obras em que esses produtos são incorporados a título definitivo [67].

Transposta para a legislação nacional (Decreto-Lei 113/93 publicado no Diário da República nº 84 I Série-A), a CPD vai entrando em vigor à medida que fica disponível o suporte normativo – Normas Harmonizadas - para verificação dos aspectos técnicos relacionados com os seus *Requisitos Essenciais* [67].

Sendo obrigatória, sobrepõe-se aos sistemas de certificação voluntários dos produtos. Não é uma *Marca de Qualidade* mas sim um *Livre Trânsito*.

A marcação CE não é uma *Marca de Qualidade*, mas sim um sinal distintivo dos produtos que satisfazem os RE/CPD e podem circular livremente no Mercado Único Europeu [67].

As marcas de qualidade actualmente existentes deverão ser utilizadas em paralelo com a marcação CE para permitirem a distinção no mercado dos produtos de maior qualidade.

### **3.3.2 Organismos notificados**

Os organismos notificados são organizações de certificação responsáveis pela aplicação do CPD, aos quais são atribuídas tarefas distintas consoante o sistema de comprovação aplicável ao produto e as competências dos organismos.

Organismos notificados são todos os laboratórios, organismos de inspecção ou organismos de certificação que se encontram registados junto da Comissão Europeia, no âmbito da marcação CE [8].

No capítulo VII, artº 18º, do CPD, a respeito da intervenção dos organismos aprovados, podemos ler os pontos seguintes:

1. Os Estados-membros notificam à Comissão Europeia os Organismos de Certificação, de Inspeção e os Laboratórios de Ensaio que aprovaram para intervirem na aplicação da CPD.
2. Estes Organismos devem satisfazer os critérios do Anexo IV da CPD.
3. Os Estados-membros indicam os produtos que são da competência de cada um dos organismos e laboratórios notificados e quais as tarefas que lhes estão atribuídas:
  - a) Certificação: Organismos imparciais com competência para certificar conformidades, segundo regras estabelecidas;
  - b) Inspeção: Organismos imparciais com competência para realizar avaliações a controlos da qualidade das fábricas (FPC) e seus produtos, segundo critérios específicos;
  - c) Ensaios: Organismos com competência para medir, examinar, ensaiar, calibrar ou determinar características funcionais de materiais e de produtos

### 3.3.3 Sistemas de comprovação de conformidade

Existem vários sistemas de certificação geridos por entidades independentes. Os vários sistemas disponíveis vão desde a certificação do produto à certificação da empresa. Alguns são de adesão voluntária, outros obrigatória. Dentro dos processos de certificação um dos mais utilizados é a certificação pelo Sistema 3. É este o sistema utilizado, por exemplo, na Marcação CE dos Cimentos-cola.

A certificação pelo Sistema 3 permite evidenciar que o produto foi avaliado por uma entidade independente e que os resultados obtidos se enquadram dentro dos limites estabelecidos nas normas e especificações aplicáveis. Esta certificação exige um acompanhamento periódico estabelecido, sendo normalmente anual. Tem como resultado a emissão de um certificado.

Na Tabela 3.14 apresentam-se os sistemas de comprovação da conformidade, indicados no Anexo III da CPD. O sistema 3 está destacado por ser o sistema utilizado na certificação dos cimentos-cola.

Tabela 3.14: Sistemas de comprovação de conformidade – Identificação do sistema utilizado na marcação dos Cimentos-cola

Funções	Sistema					
	1+	1	2+	2	3	4
Controlo de produção da fábrica	F	F	F	F	F	F
Ensaio inicial do produto			F	F		F
Ensaio de amostras colhidas na fábrica de acordo com um programa de ensaios previamente estabelecido	F	F	F			
Ensaio inicial do produto	C/I	C/I			L	
Inspecção inicial da fábrica e do controlo e do controlo de produção da fábrica	C/I	C/I	C/I	C/I		
Fiscalização, apreciação e aprovação contínuas do controlo de produção da fábrica	C/I	C/I	C/I			
Ensaio aleatório de amostras colhidas na fábrica, no mercado ou no local da obra	C/I					
Organismo Envolvido:	F	- Fabricante				
	L	- Laboratório				
	I	- Organismo de Inspecção				
	O	- Organismo de Certificação				

A característica comum entre todos os sistemas de comprovação consiste na necessidade do fabricante demonstrar que o processo de fabrico é controlado com regularidade.

### 3.3.4 Marcação CE de cimentos-cola

#### 3.3.4.1. Decisões da Comissão

A EMO – *European Mortar Industry Organization*, em conjunto com peritos em argamassas representantes de cada Estado Membro, forma um grupo de trabalho, responsável pelo desenvolvimento de regras de marcação comuns relativas a um produto de construção específico, as argamassas. O Comité Europeu de Normalização, CEN, é responsável pela publicação de Normas Harmonizadas e a Comissão Europeia (DG-III) toma as decisões relativas aos produtos da construção.

Na Figura 3.9 representam-se, de forma esquemática, as funções dos organismos envolvidos na marcação CE de argamassas (adaptado de *CE marking of construction mortars is starting* [110]).

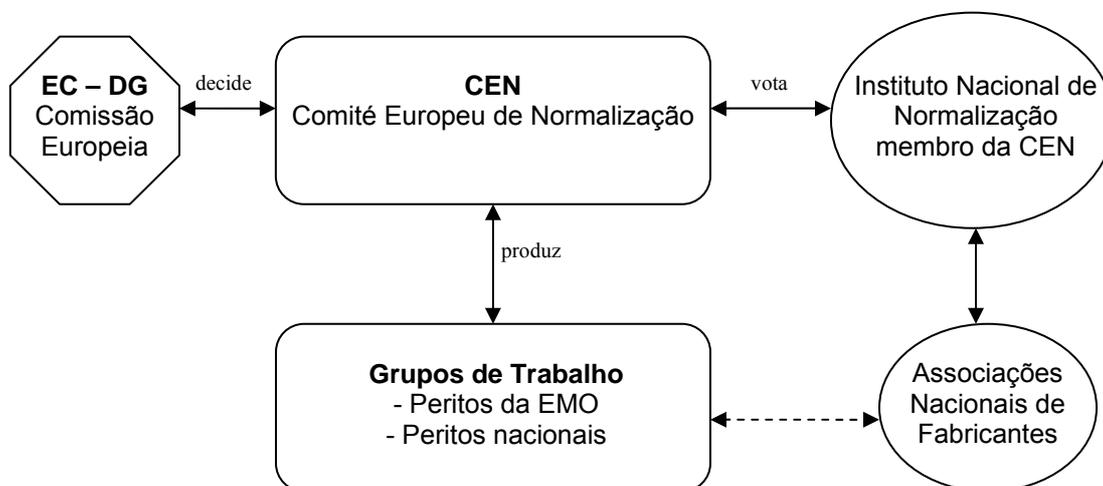


Figura 3.9: Funções dos organismos envolvidos na marcação CE de argamassas

Relativamente aos Cimentos-cola, as decisões tomadas pela Comissão Europeia são as apresentadas na Tabela 3.15.

Tabela 3.15: Decisões da EC-DG relativas à certificação de Cimentos-cola

Produto	Norma	Decisão	Aplicação	Obrigaçã	Sistema
Cimento-cola	EN 12004	99/470/CE	04/2003	05/2004	3

### 3.3.4.2. Sistema de comprovação da conformidade

O sistema de comprovação da qualidade adequado à marcação CE de Cimentos-cola é o sistema 3. O processo de certificação de cimentos-cola por este sistema implica a realização dos procedimentos indicados no esquema da Figura 3.10.

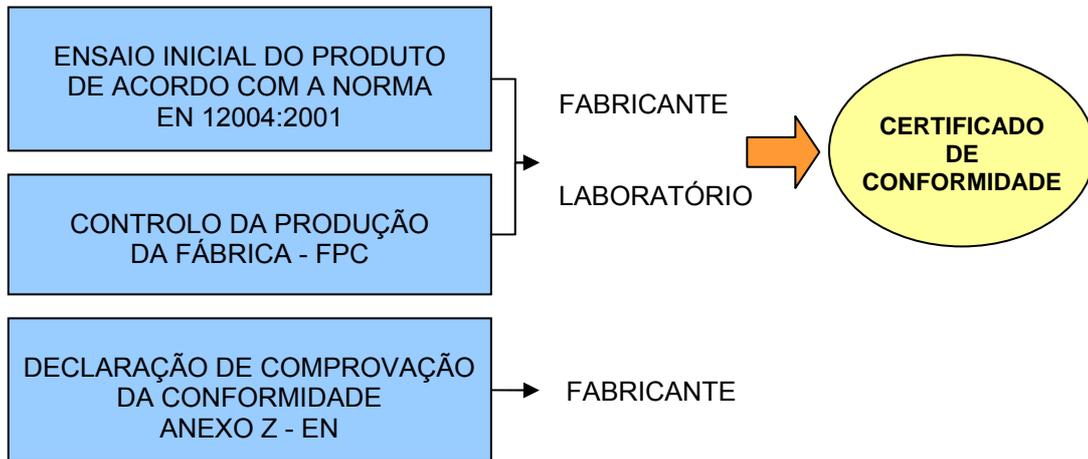


Figura 3.10: Marcação CE de Cimentos-cola – Sistema 3

### 3.3.4.3. Declaração de conformidade

A Declaração de Conformidade CE deve incluir:

- Nome do Produto;
- Nome e endereço do fabricante, ou seu representante e local de produção (marca e estabelecimento do fabricante);
- Data de produção, data limite de utilização e condições de armazenamento;
- Características de conformidade do produto;
- Campos e condições de aplicação;
- Condições particulares de aplicação do produto;
- Tipo de Cimento-cola de acordo com a definição da EN 12004 [56].

Na Figura 3.11 representa-se um exemplo da declaração do fabricante de cimentos-cola a colocar na embalagem de comercialização do produto.

CE 2004	
Empresa Fabricante de Cimentos-Cola Identificação do fabricante Endereço Contactos	
EN 12004 Identificação do produto Tipo Aplicação	
CARACTERÍSTICAS DE CONFORMIDADE	VALORES DECLARADOS
Aderência inicial	...
Aderência após imersão em água	... valores
Aderência após aquecimento	... $\geq$ mínimos de referência
Aderência após ciclos de gelo-degelo	...

The diagram shows a 3D perspective of a cement bag. A yellow rectangular label at the top is labeled 'Declaração Obrigatória'. Below it, a yellow rectangular label contains the 'CE' mark and several horizontal lines for text. Blue arrows point from the table above to these labels on the bag, indicating that the table's content is what should be placed on the bag.

Figura 3.11: Exemplo de declaração do fabricante de cimentos-cola

### 3.3.5 Importância da marcação CE

A marcação CE é uma ferramenta imprescindível no desenvolvimento da qualidade e da comercialização dos produtos da construção. É um símbolo da conformidade com os requisitos mínimos aplicáveis a cada produto. Sendo obrigatória, mas não pretendendo ser uma marca de qualidade, a marcação CE impõe a conformidade dos produtos da construção com os *Requisitos Essenciais* a eles aplicáveis, contribuindo, deste modo, para a eliminação do mercado de produtos de qualidade inferior. As marcas de qualidade poderão ser utilizadas em paralelo com a marcação CE, permitindo a distinção dos produtos de qualidade superior.

Os *Requisitos Essenciais* a cumprir pelos produtos de construção aplicados em obra pretendem caracterizar o seu desempenho. O desempenho desses produtos, em particular dos cimentos-cola, é normalmente avaliado no momento da aplicação. O conhecimento das suas características no momento inicial é fundamental para a sua classificação e para a marcação CE. Sendo a classificação imprescindível na selecção do material que melhor se adequa à utilização pretendida, não nos traduz, no entanto, o seu desempenho ao longo do tempo. Faltam-nos métodos objectivos, capazes de avaliar o desempenho de componentes e/ou materiais de construção ao longo da sua vida útil.

### 3.4 TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Uma parede revestida a ladrilhos cerâmicos é formada basicamente por 6 camadas de materiais diferentes: suporte, chapisco, emboço, cimento-cola, junta e ladrilho cerâmico (Figura 3.12).

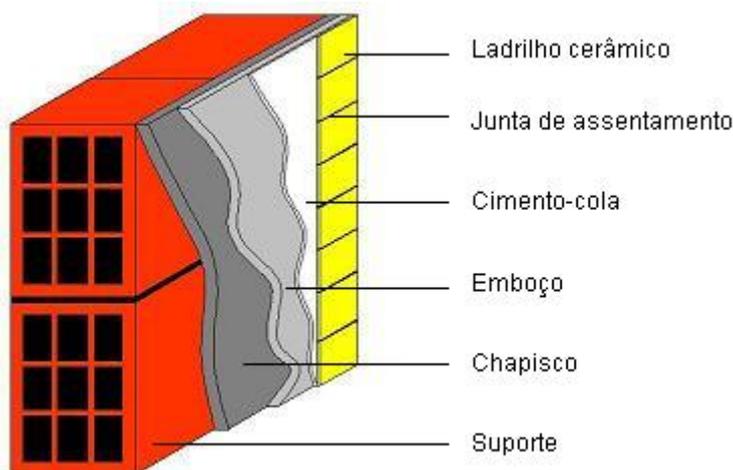


Figura 3.12: Camadas do sistema de revestimento cerâmico aderente e suporte

A aplicação de revestimentos cerâmicos deverá seguir as seguintes tarefas:

- Selecção dos materiais (§ 3.4.1);
- Selecção dos equipamentos e ferramentas (§ 3.4.2);
- Definição do número e espessura das juntas: de construção e de assentamento (§ 3.4.3);
- Preparação do suporte (§ 3.4.4);
- Aplicação do revestimento cerâmico e execução das juntas (§ 3.4.5).

#### 3.4.1 Selecção dos materiais

A União Europeia através do CEN – Comité Europeu da Normalização, desenvolveu trabalhos no sentido de definir e normalizar os materiais adaptados à execução de um revestimento cerâmico. Os materiais necessários à aplicação de revestimentos colados a paredes de fachada são:

- a) Água:
- A água utilizada deve estar limpa de impurezas. Não deve, em hipótese alguma, utilizar-se água salgada. Todos os recipientes destinados a armazenagem ou transporte de água devem ser limpos.
- b) Argamassa para chapisco:
- A argamassa para chapisco deve ter o traço em volumes aparentes de 1:3 de cimento e areia média húmida.
- c) Argamassa para emboco:
- A argamassa para o emboço deve ter o traço em volumes aparentes entre as razões de 1:1/2:5 a 1:2:8 de cimento, cal hidratada e areia média húmida.
- d) Cimentos-cola:
- O cimento-cola é normalmente comercializado em sacos;
  - Deve procurar-se sempre na embalagem as seguintes características: tipologia do cimento cola; prazo de validade; condições de armazenamento; instruções e cuidados necessários para a aplicação, manuseio, quantidade de água de amassadura e tempo de repouso;
  - Os sacos devem ser empilhados sobre estrados secos. As pilhas não devem ter mais do que 1,5 m de altura;
  - As classes de cimentos-cola recomendadas para fixação de ladrilhos cerâmicos em fachadas são as apresentadas na Tabela 3.16 em função do revestimento a colar (natureza e área) e da altura da fachada;

Tabela 3.16: Classes de cimentos-cola recomendadas para aplicações em fachada [8]

<i>Revestimento a Colar</i>		<i>Altura da Fachada</i>	
Natureza	Área (cm <sup>2</sup> )	H ≤ 6 m	6 m < H ≤ 28 m
Mosaico m pasta de vidro ou porcelânico	S ≤ 50		
Plaquetas morais em terracota	S ≤ 231		
Azulejos de terracota	S ≤ 300	C2	C2S
Ladrilhos extrudidos ou prensados	S ≤ 2000 2000 < S ≤ 3600		
Ladrilhos plenamente vitrificados	S ≤ 2000	C2S	C2S

e) Argamassa para juntas:

- As argamassas para juntas destinam-se a aplicações de preenchimento de juntas em revestimentos interiores e exteriores;
- Muitas das propriedades das argamassas são determinadas pelo tipo de ligante utilizado e pela sua composição química;
- As categorias a considerar para argamassas de juntas são:
  - CG - à base de cimento;
  - RG - à base de resinas de reacção.
- Podem ser-lhes adicionados adjuvantes líquidos ou elásticos (Látex), sob a forma de dispersões poliméricas aquosas que são misturadas em obra.
- Em revestimentos de fachadas, deve-se utilizar uma argamassa para juntas impermeável, para evitar que a água penetre para o interior da parede, aumentando, com isto, a durabilidade do revestimento e evitando o aparecimento de eflorescências.

f) Ladrilhos cerâmicos:

- Nos revestimentos exteriores as características fundamentais, dos ladrilhos cerâmicos, a ter em consideração são:
  - Resistência à acção gelo-degelo;
  - Expansão por humidade;
  - Dilatação térmica linear;
  - Coeficiente de absorção da radiação solar.
- No que se refere às dimensões dos ladrilhos cerâmicos, segundo os cadernos de prescrição técnicos do CSTB, há limites para os ladrilhos fixados por colagem:
  - 2000 cm<sup>2</sup> em paredes revestidas com ladrilhos de absorção de água não superior a 0,5%;
  - 3600 cm<sup>2</sup> em paredes revestidas com ladrilhos de absorção de água superior a 0,5%;
  - 300 cm<sup>2</sup> em paredes revestidas com ladrilhos de terracota;
  - 231 cm<sup>2</sup> em paredes revestidas com *plaquetas* de terracota.

- Os ladrilhos cerâmicos devem ser armazenados num local plano e estável, protegidos do sol e da chuva. As caixas podem ser empilhadas de modo a atingirem, no máximo, 2 metros de altura.

g) Material de preenchimento das juntas:

- Para o preenchimento das juntas devem-se utilizar materiais altamente deformáveis (borracha alvéolar, cortiça, espuma de poliuretano, etc.).

h) Selante:

- O selante é o material utilizado para a vedação das juntas de construção. Têm um fabrico à base de elastómeros, como poliuretano, polissulfeto, silicone, etc.

### **3.4.2 Seleção dos equipamentos e ferramentas**

É muito importante garantir, antes de iniciar os trabalhos de colocação do revestimento cerâmico, a existência de todas as ferramentas e equipamentos essenciais para o assentamento, de forma a poupar tempo e trabalho durante a execução dos trabalhos. As ferramentas e equipamentos necessários à execução do assentamento do sistema de revestimento cerâmico em fachadas são:

a) Equipamentos de corte:

- Os equipamentos de corte são, fundamentalmente os seguintes:
  - Cortadores de vória manuais;
  - Serra eléctrica;
  - Torques;
  - Serra circular.

b) Equipamentos para furação:

- Os equipamentos para furação são, fundamentalmente os seguintes:
  - Furadora eléctrica;
  - Broca tubular.

c) Sistemas de mistura e bombagem:

- Os sistemas de mistura e bombagem são, fundamentalmente os seguintes:
  - Misturador de argamassa portátil;

- Misturador de argamassas autonivelantes.
- d) Sistemas de aplicação:
  - Podem ser utilizados dois sistemas de aplicação utilizando dois equipamentos distintos:
    - Talochas;
    - Martelo de borracha.
- e) Acessórios:
  - Podemos considerar duas grandes categorias de acessórios:
    - “Facilitadores” da aplicação das peças cerâmicas (Cruzetas, Cunhas, Fios para juntas e Fitas de nylon);
    - Incorporados na estrutura construtiva (perfis em PVC, metálicos ou cerâmicos, juntas de construção em PVC ou metal e redes em fibra de vidro para o reforço do suporte a revestir).
- f) Sistemas de Limpeza:
  - Como sistemas de limpeza existem processos mecânicos e manuais adequados ao tipo de produto e à extensão de área a limpar;
  - No acabamento dos trabalhos de revestimento a limpeza deve ser feita depois do preenchimento das juntas;
  - O material a usar deve ser uma esponja ou pano seco e eventualmente uma serradura de madeira.
- g) Sistemas de segurança:
  - O trabalhador, no acto de aplicação do revestimento cerâmico, deverá utilizar os equipamentos de protecção, como, capacete, óculos de segurança, luvas de borracha adequados à sua função e riscos de exposição.

### **3.4.3 Definição do número e espessura das juntas**

Embora não se perceba, os edifícios movimentam-se. Estes movimentos são muito pequenos e têm diferentes origens: variação de temperatura, variação de humidade, deformação das estruturas, acção do vento e outras. Com a finalidade de controlar estes movimentos, garantindo que o edifício permanece estável e que as placas permanecem coladas às fachadas, usam-se juntas.

Designam-se por juntas todos os sistemas que interrompem a continuidade de uma estrutura.

Há dois tipos distintos de juntas a considerar, as juntas de construção e as juntas de assentamento. As primeiras têm como finalidade limitar o risco de levantamento e roturas provocadas por movimentos estruturais (contração ou expansão e flexão); as de assentamento são juntas de dimensão. Na Tabela 3.17 apresentam-se os diferentes tipos de juntas identificados.

Tabela 3.17: Diferentes tipos de juntas

<i>Tipologia de Juntas</i>	
Juntas de Construção	Juntas Estruturais
	Periféricas
	Intermédias
Juntas de Assentamento	Juntas de dimensão

As juntas de assentamento deverão ser definidas pelo fabricante em função do tipo de aplicação prevista, atendendo às características dos ladrilhos, nomeadamente a sua deformabilidade face às diferentes solicitações, em particular as de carácter higrotérmico.

Para aplicações em paredes exteriores recomendam-se os valores mínimos definidos na Tabela 3.18.

Tabela 3.18: Espessura mínima das juntas de assentamento entre ladrilhos em paredes exteriores [8]

<i>Tipo de Ladrilhos</i>	<i>Espessura [mm]</i>
Prensados a seco:	
$S \leq 500 \text{ cm}^2$	2
$S > 500 \text{ cm}^2$	3
Ladrilhos e “plaquetas” de terracota e ladrilhos extrudidos	6
Restantes materiais	4

Para as juntas estruturais as preocupações a ter na concepção, projecto e execução ao nível das dimensões, posição e construção são as a seguir apresentadas em forma de tabela, de modo a clarificar e simplificar a exposição dos critérios (Tabela 3.19).

Tabela 3.19: Juntas de construção – dimensões, posição e construção em paredes exteriores [8]

<i>Tipos de Juntas de Construção</i>	<i>Dimensões</i>	<i>Posição</i>	<i>Construção</i>
Estruturais	<b>Largura</b> ≥ junta do suporte <b>Profundidade</b> – a adequada para garantir o prolongamento da junta de suporte.	Imediatamente sobre as juntas estruturais do suporte.	Feitas em obra ou pré-fabricadas com a finalidade de absorver movimentos estruturais previsíveis.
Periféricas	<b>Largura</b> ≥ 5 mm <b>Profundidade</b> – a adequada para penetrar a totalidade da espessura do reboco de suporte.	Nos limites da superfície revestida.	Feitas em obra ou pré-fabricadas com a finalidade de absorver movimentos estruturais previsíveis.
Intermédias	<b>Largura</b> ≥ 5 mm <b>Profundidade</b> – a adequada para penetrar a totalidade da espessura do reboco de suporte.	As áreas mínimas entre juntas e/ou a distância entre juntas devem ser especificadas. As áreas entre juntas devem ser aproximadamente quadradas. - Ex.: - Área máx.: 40 m <sup>2</sup> - Dist. máx.: 8 m	Feitas em obra ou pré-fabricadas com a finalidade de absorver movimentos estruturais previsíveis.

### 3.4.4 Preparação do suporte

Os suportes dos revestimentos cerâmicos devem apresentar-se estáveis, são, secos e livres de qualquer contaminação. Os suportes em betão devem estar isentos de produtos de desmoldagem, a não ser que seja comprovada a sua compatibilidade com os trabalhos de revestimento. A decapagem deste tipo de suporte pode ser efectuada na altura de desmoldagem das peças, com água a alta pressão, ou sobre o betão endurecido, por picagem, decapagem com jacto abrasivo de areia ou com água a muito alta pressão (pelo menos 400 bar).

Os suportes à base de cimento devem secar por períodos mínimos que vão de 4 semanas a 6 meses, dependendo do seu tipo, espessura e condições ambientais a que é sujeito. Já os suportes à base de monomassas devem, no mínimo, ter 4 semanas de cura antes da aplicação dos materiais.

Os suportes adequados à aplicação de sistemas de revestimento em ladrilhos cerâmicos fixados com cimentos-cola a paramentos exteriores de paredes são os referidos no parágrafo 3.2.4.

### **3.4.5 Aplicação do sistema de revestimento cerâmico**

O assentamento do revestimento cerâmico prevê as seguintes operações:

- Execução de tarefas preliminares (§ 3.4.5.1);
- Aplicação do cimento-cola (§ 3.4.5.2);
- Colocação dos ladrilhos cerâmicos (§ 3.4.5.3);
- Execução das juntas (§ 3.4.5.4);
- Limpeza (§ 3.4.5.5);
- Cura (§ 3.4.5.6).

#### ***3.4.5.1. Execução de tarefas preliminares***

Antes de iniciar o assentamento propriamente dito, devem realizar-se as seguintes tarefas preliminares:

- Verificar a esquadria e as dimensões da base a ser revestida para a definição da largura das juntas entre as placas, procurando reduzir o número de recortes e o melhor posicionamento destas.
- Localizar, sobre a superfície a ser revestida, as juntas horizontais e verticais entre as placas cerâmicas.
- Marcar os alinhamentos das primeiras fiadas, nos dois sentidos, com linhas de nylon, servindo então de referência para as fiadas seguintes, ou então a partir da fixação de uma régua de alumínio junto à base.
- Colocar as placas para que sejam feitos cortes iguais nos lados opostos à superfície a ser revestida.
- Planear a colocação das placas relativamente à decoração das mesmas, ou seja, ao encaixe preciso dos desenhos quer nas diagonais quer nas perpendiculares.

Para o caso do assentamento de paisagens ou mosaicos, desenhar com giz as figuras a serem formadas, colocando entre as linhas desenhadas o formato e a cor das placas que fazem parte do desenho.

### **3.4.5.2. Aplicação do cimento-cola**

Antes da aplicação propriamente dita o cimento-cola tem que ser preparado. O processo de preparação depende da composição do cimento-cola, a alguns adiciona-se água de um modo idêntico ao de uma argamassa corrente, a outros, os bi-componentes, não há necessidade de adição de água, pois misturam-se entre si.

Há dois métodos distintos para a aplicação do cimento cola, o denominado método de colagem simples – Método W1, e o método de colagem dupla – Método W2. Na colagem simples o espalhamento da argamassa é feito apenas no suporte, enquanto que na colagem dupla o espalhamento é feito no suporte e no tardo de cada peça cerâmica.

O método de aplicação depende da área da peça cerâmica a ser assentada.

Nos ladrilhos de pequenas dimensões (área  $S \leq 50 \text{ cm}^2$ ) ou com plaquetas terracota a colagem é simples. Para ladrilhos com superfícies  $S > 50 \text{ cm}^2$ , a colagem deve ser dupla.

A argamassa deve ser espalhada com o lado liso da talocha, comprimindo-a contra a parede num ângulo de  $45^\circ$ , formando uma camada uniforme. A seguir, deve utilizar-se o lado denteado da talocha sobre a camada de argamassa, para formar cordões que facilitarão o nivelamento e a fixação das placas cerâmicas. Durante a colocação das placas, os cordões de cola devem ser totalmente esmagados, formando uma camada uniforme, e garantindo o contacto pleno da argamassa com o tardo de da placa.

A espessura da camada final da argamassa de cimento-cola deve ser de 2 a 5 mm, podendo chegar aos 10 mm em pequenas áreas isoladas, onde existam irregularidades superficiais na base.

Devem ser sempre respeitados os tempos de vida útil, tempo em aberto e tempo de repouso definidos na EN 12004 [56] e indicados na embalagem do produto, levando-se em conta que em dias secos, quentes e com muito vento, estes tempos podem alterar-se. O final do tempo em aberto da argamassa é indicado pela formação de uma película esbranquiçada sobre os cordões da argamassa de cimento-cola. A partir deste momento as condições de assentamento ficam prejudicadas, podendo favorecer o descolamento precoce da placa cerâmica.

Periodicamente, durante o assentamento, devem arrancar-se placas aleatoriamente (1% das placas), verificando se estas estão com o verso totalmente preenchido com argamassa. Este procedimento é denominado de Teste de Arrancamento e destina-se a avaliar a qualidade do assentamento, e a fazer os ajustes necessários.

#### ***3.4.5.3. Colocação dos ladrilhos cerâmicos***

O tardo das placas cerâmicas a assentar bem como a superfície a ser revestida devem estar limpos, isentos de pó, gorduras, ou partículas secas e não devem ser molhados antes do assentamento.

As placas cerâmicas devem ser colocadas, ligeiramente fora de posição, sobre os cordões da argamassa de cimento-cola. O posicionamento da placa é então ajustado e o revestimento cerâmico é fixado através de um ligeiro movimento de rotação. Para se retirar o excesso de argamassa, devem ser dadas leves batidas com um martelo de borracha sobre a face da cerâmica. A argamassa que escorrer deve ser limpa antes do seu endurecimento, evitando que esta prejudique a junta de assentamento.

A largura das juntas de assentamento pode ser garantida pelo uso de acessórios (cruzetas).

#### ***3.4.5.4. Execução das juntas***

A execução das juntas, de construção e de assentamento, deve seguir as especificações referidas no ponto § 3.4.3.

#### ***3.4.5.5. Limpeza***

Esta é a última operação a realizar e tem a finalidade de eliminar os resíduos de argamassas ou outros materiais usados no processo de assentamento.

Deve utilizar-se uma esponja ou pano seco e o movimento da limpeza deve ser executado na diagonal das peças cerâmicas para não danificar as juntas preenchidas.

A limpeza de revestimentos com ácidos é contra-indicada, pois pode prejudicar tanto a superfície da placa cerâmica como a junta de assentamento. Entretanto, quando for necessária a limpeza com ácidos, deve utilizar-se uma parte de ácido para dez partes de água. Neste caso, deve proteger-se previamente com vaselina os componentes

susceptíveis ao ataque químico. Após a limpeza, que deve ser feita com água em abundância, utiliza-se uma solução neutralizadora de amoníaco (uma parte de amoníaco para cinco partes de água) e enxagua-se com água em abundância. Finalmente, enxuga-se com um pano, para remover a água presente nas juntas.

#### **3.4.5.6. Cura**

Após a limpeza, as operações para o revestimento da parede estão completas, muito embora a parede ainda não esteja adequada para o uso. É necessário esperar aproximadamente 15 dias para que as reacções físicas e químicas, que ocorrem com as argamassas, possam acontecer. Estas reacções são fundamentais para a qualidade da aderência entre as diversas camadas que compõe a parede revestida com placas cerâmicas.

#### **3.4.6 Seleção do tipo de revestimento cerâmico e método de aplicação**

Pode seguir-se uma metodologia expedita de selecção do tipo de revestimento cerâmico e do método de aplicação a utilizar, conforme o exposto no fluxograma da Figura 3.13 (adaptado dos fluxogramas apresentados no Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos [8]).

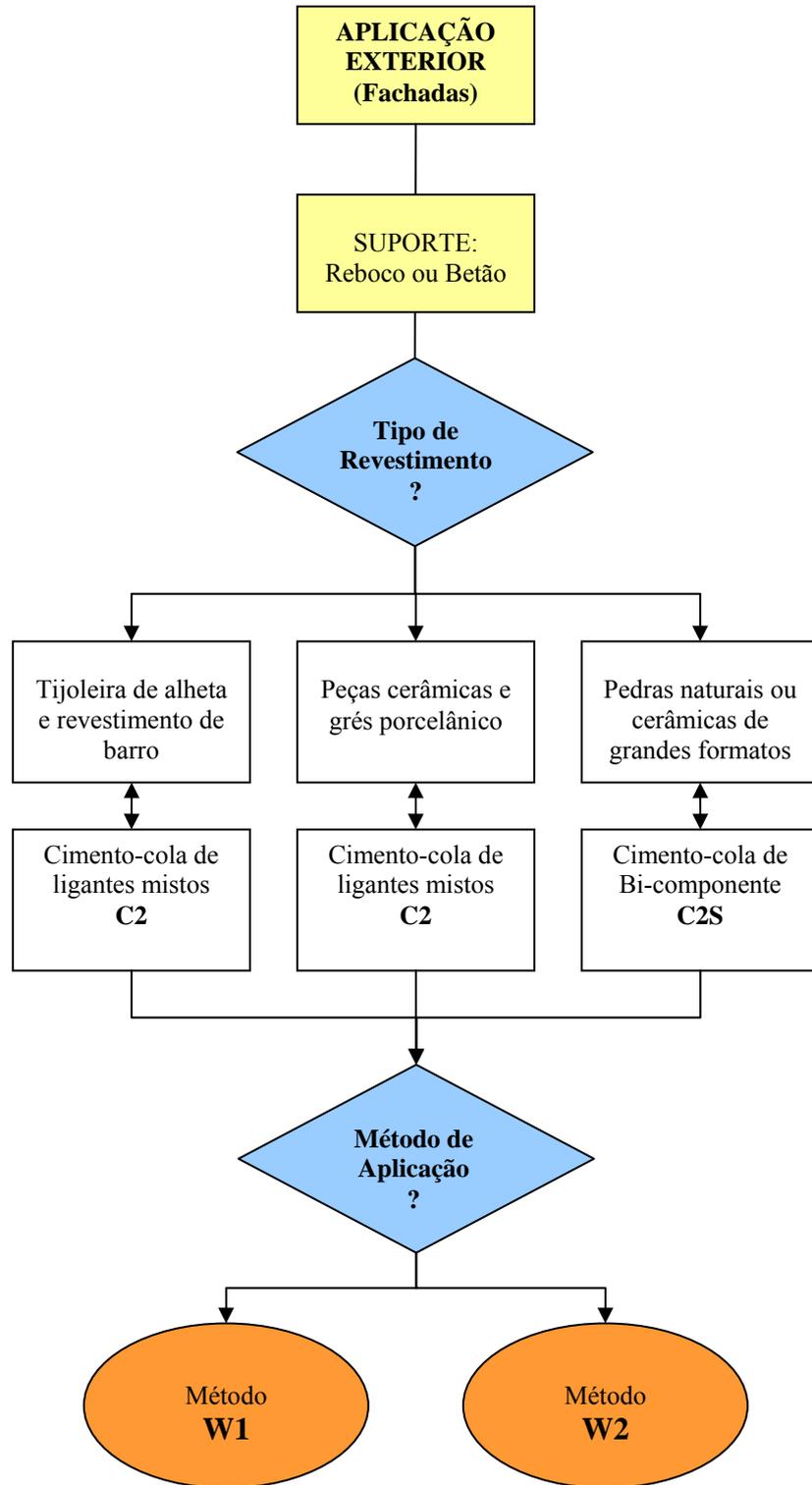


Figura 3.13: Procedimentos de selecção e aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas

### 3.5 PATOLOGIAS

Neste parágrafo faz-se uma breve referência à patologia do sistema de revestimento cerâmico aderente ao suporte em análise: o descolamento. Aqui, ao contrário do desenvolvido no Capítulo 2 onde se aborda o conceito da patologia do revestimento cerâmico como consequência do seu envelhecimento natural, decorrentes da sua utilização normal ao longo de vários anos, estuda-se o descolamento como consequência da má concepção ou deficiente aplicação do sistema de revestimento.

Em geral, o descolamento e as outras patologias do sistema de revestimento cerâmico fazem-se sentir com maior intensidade ou maiores consequências funcionais no exterior dos edifícios. É também no exterior das construções que se registam as condições de aplicação mais adversas.

Os principais factores do desenvolvimento das patologias registados nos sistemas de revestimento cerâmico aderentes são os seguintes:

- A falta de rigor e de controlo dos processos de fabrico dos materiais utilizados no sistema de revestimento cerâmico;
- A selecção inadequada dos materiais;
- A má concepção;
- A deficiente aplicação.

Estes factores, conjugados ou não, conduzem ao descolamento, à fissuração, e a outras patologias que afectam o desempenho destes revestimentos, nomeadamente no diz respeito:

- À segurança na utilização – falta de aderência e falta de planeza;
- À funcionalidade – deixa de funcionar como revestimento de estanquidade à água;
- Ao aspecto – enodoamento, eflorescências, desgaste excessivo, alteração de cor e deterioração das juntas.

Para o tipo de patologia em estudo, o descolamento, referem-se, na Tabela 3.20, os principais sintomas e as causas mais prováveis para a sua manifestação.

Tabela 3.20: Descolamento de sistemas de revestimento cerâmico aderentes

<i>Tipo de Patologia</i>	<i>Sintomas</i>	<i>Causas mais prováveis</i>
Descolamento	Perda de aderência, relativamente ao suporte, com ou sem empolamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentos diferenciais suporte/sistema de revestimento.</li> <li>• Expansão dos ladrilhos cerâmicos.</li> <li>• Aderência insuficiente entre camadas do revestimento.</li> <li>• Falta de juntas elásticas no contorno do revestimento.</li> <li>• Deficiências do suporte (deficiências de limpeza, planeza, porosidade).</li> </ul>



## CAPÍTULO 4

### 4 ESTUDO LABORATORIAL – ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL

#### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O estudo experimental desenvolvido insere-se na fase de *Teste* do método de avaliação de durabilidade adoptado para o presente trabalho. Este método, baseado no exposto no documento guia GD003 [19] desenvolvido pela EOTA, assim como as diferentes fases dele constituintes, estão descritos no parágrafo 2.4.2 do Capítulo 2. Nas fases anteriores a esta fase experimental (fase de *Teste*) estabeleceu-se o seguinte:

- Fase de *Definição do Problema* – O *Requisito Essencial*<sup>1</sup> estabelecido nesta fase foi a durabilidade ou vida útil física do sistema de revestimento cerâmico aderente e o *Critério*<sup>2</sup> seleccionado para a sua caracterização foi a quantificação do valor da aderência do sistema ao suporte, ou seja, a determinação da resistência à tracção do cimento-cola enquanto componente do sistema responsável pela adesão ao suporte. O *Valor Crítico*<sup>3</sup> fixado foi de 0,3 MPa (§ 2.4.2).
- Fase de *Preparação* – Apesar de se terem identificado os vários mecanismos e factores de degradação responsáveis pelo envelhecimento do sistema de

---

<sup>1</sup> *Requisito Essencial* – Características fundamentais dos materiais ou componentes da construção que condicionam o seu desempenho.

<sup>2</sup> *Critério* – Parâmetros utilizados na qualificação dos *Requisitos*.

<sup>3</sup> *Valor Crítico* – Valores limites de referência atribuídos aos *Critérios*.

revestimento cerâmico aderente (§2.4), apenas se consideraram, por limitações próprias dos ensaios realizados em laboratório, os de carácter higrotérmico, que são os seguintes (§2.4.4):

- Variação da temperatura;
- Variação da humidade relativa;
- Radiação solar;
- Chuva;
- Circulação de ar.

— Fase de *Pré-Teste* – A legitimidade dos mecanismos de degradação identificados e dos ciclos de envelhecimento artificial acelerado criados foi estabelecida, não só, pela adaptação de estudos experimentais realizados sobre materiais ou sistemas de construção distintos do estudado, embora sujeitos ao mesmo tipo de solicitações, ao caso concreto dos sistemas de revestimento cerâmico aderente, mas também, pelas conclusões retiradas em diversos estudos teóricos e de modelação do comportamento do sistema de revestimento cerâmico aderente (§ 4.2.4.1).

De acordo com o exposto, a estas fases já definidas, segue-se a fase de *Teste*. Os ensaios de curta duração constituem uma das etapas essenciais desta fase, estando enunciados nos parágrafos seguintes deste capítulo.

## **4.2 FASE DE TESTE: ENSAIOS DE CURTA DURAÇÃO**

### **4.2.1 Modelo físico**

O estudo experimental do desempenho ao longo da vida útil do cimento-cola implica a modelação física do sistema de revestimento cerâmico aderente a fachadas, sistema em que o produto responsável pela adesão é o cimento-cola. A modelação física do comportamento do sistema, no que se refere à durabilidade, deve contemplar todos os condicionantes impostos pelos ensaios a realizar, em laboratório, sobre os provetes.

Na determinação da resistência à tracção dos cimentos-cola, a Norma Europeia EN 1348 [68], exige a utilização de placas de betão com as características definidas na Norma Europeia EN 1323 [74]; contudo, o condicionamento dos provetes no tambor da câmara de envelhecimento (Figura 4.1) e o seu manuseamento exigem que se limitem o peso e as dimensões dos provetes a executar.



Figura 4.1: Condicionamento dos provetes no interior da câmara de envelhecimento acelerado.

O modelo físico adoptado no presente estudo é constituído por placas de betão sobre as quais se colaram, com cimentos-cola de duas classes distintas, ladrilhos cerâmicos para simular o sistema de revestimento cerâmico aderente a fachadas, cujas características são as seguintes:

- Espessura:  $e = 40 \text{ mm}$ ;
- Dimensões superficiais:  $L = 200 \text{ mm}$  e  $C = 300 \text{ mm}$ ;
- Número de ladrilhos por placa:  $n = 3$  ladrilhos.

A disposição adoptada para os ladrilhos cerâmicos na superfície das placas de betão está representada na Figura 4.2.

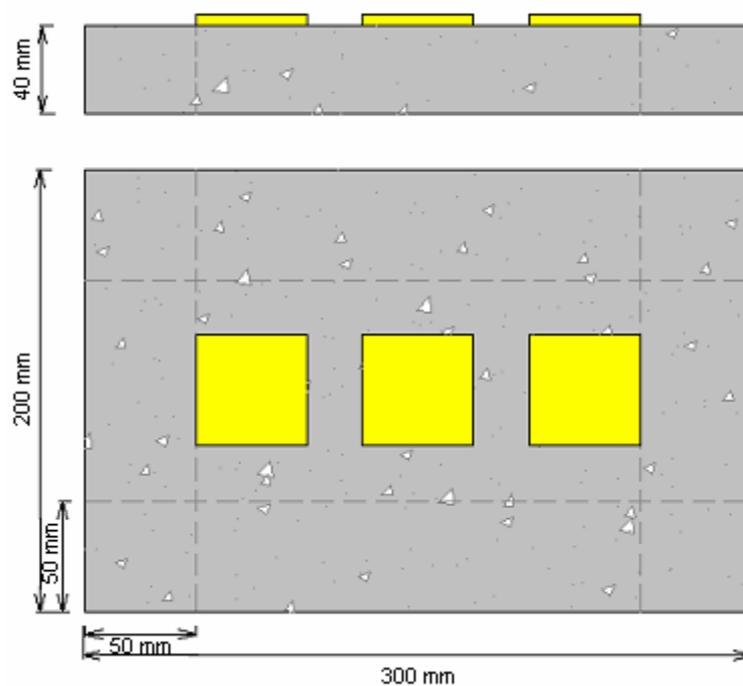


Figura 4.2: Disposição dos ladrilhos cerâmicos sobre a superfície do provete

Esta disposição dos ladrilhos é a que melhor se adequa à realização dos ensaios de tracção com o equipamento utilizado (Figura 4.3).

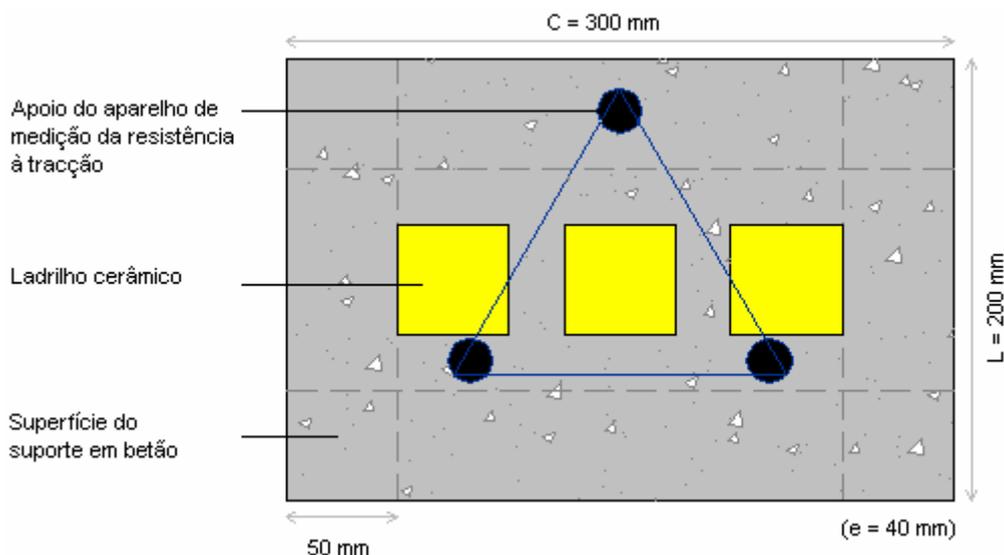


Figura 4.3: Esquema dos apoios do aparelho de tracção sobre a superfície do provete

Foram utilizados 3 tipos de ladrilhos cerâmicos, correntemente utilizados no mercado nacional no revestimento exterior de fachadas, com coeficientes de absorção muito distintos, variando de 0,02% a 5%, designados neste estudo por L0, L1 e L2 e pertencentes, respectivamente, aos grupos<sup>4</sup> BIa, AI e BIIa.

As principais características dos ladrilhos cerâmicos utilizados estão sintetizadas nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1: Características dimensionais dos ladrilhos cerâmicos

<i>Designação</i>	<i>Grupo</i> <sup>4</sup>	<i>Comprimento x Largura</i> [mm x mm]	<i>Espessura</i> [mm]
L0	BIa	50 x 50	5
L1	AI	50 x 50	5
L2	BIIa	50 x 50	10

Tabela 4.2: Características físicas e químicas dos ladrilhos cerâmicos

<i>Designação</i>	<i>Grupo</i> <sup>1</sup>	<i>Absorção de água</i> [%]	<i>Resistência à flexão</i> [MPa]	<i>Dureza superficial</i> [Mohs]	<i>Dilatação térmica linear</i> [K <sup>-1</sup> ]
L0	BIa	0,02	≥ 27	≥ 6	≤ 9x10 <sup>-6</sup>
L1	AI	2,74	≥ 27	≥ 5	≤ 9x10 <sup>-6</sup>
L2	BIIa	5	≥ 18	≥ 6	≤ 12x10 <sup>-6</sup>

<sup>4</sup> Grupos de ladrilhos cerâmicos definidos na Norma Europeia EN 14411, *Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marketing*, 2003 [38] (Capítulo 3 §3.2).

No total ensaiaram-se 105 ladrilhos cerâmicos, 21 do tipo L0, 42 do tipo L1 e 42 do tipo L2.

Os cimentos-cola utilizados neste estudo pertencem às *classes C2 e C2S*<sup>5</sup>, as únicas aconselhadas para aplicações no exterior. Estes cimentos são designados neste trabalho por C2 e C2S, respeitando a respectiva classificação atribuída pelo CSTB no Cahier 3264 [58].

As características fundamentais dos cimentos-cola utilizados nas experiências desenvolvidas foram fornecidos pela empresa fabricante do produto e são as apresentadas nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Tabela 4.3: Características fundamentais do cimento-cola C2

<i>Características Fundamentais</i>	<i>Tensão de Aderência</i> [MPa]
Aderência após 3 dias	1,0
Aderência após 28 dias	1,5
Aderência após acção do calor	1,0
Aderência após imersão em água	0,5

**Fonte:** O Guia Weber 2004 – Weber-Cimenfix [75]

Tabela 4.4: Características fundamentais do cimento-cola C2S

<i>Características Fundamentais</i>	<i>Tensão de Aderência</i> [MPa]
Aderência após 28 dias	2,0
Aderência após acção do calor	1,5
Aderência após imersão em água	1,0
Aderência após ciclos de gelo-degelo	1,0

**Fonte:** O Guia Weber 2004 – Weber-Cimenfix [75]

O conjunto formado pela placa de betão com 40 mm de espessura, por uma camada fina de cimento-cola, da classe C2 ou C2S, e por 3 ladrilhos cerâmicos, do tipo L0, L1 ou L2, constitui o provete de ensaio (Figura 4.4).

<sup>5</sup> Classes C2 e C2S dos cimentos-cola definidas no *Cahier 3264 du CSTB – Classification des coles à carrelage – Définitions et Specifications* [58] (Capítulo 3 §3.2.3.2).

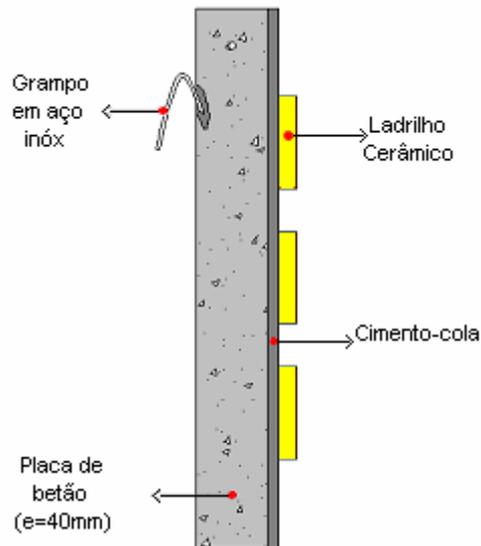


Figura 4.4: Corte esquemático do provete de ensaio.

Na Tabela 4.5 estão identificados e caracterizados os provetes concebidos para a realização do estudo proposto.

Tabela 4.5: Designação dos 5 tipos de Provetes de Ensaio

<i>Ladrilha Cerâmico</i>	<i>Cimento-Cola</i>	
	C2	C2S
L0	PE0	-
L1	PE1	PE2
L2	PE3	PE4

Construíram-se 7 provetes de cada tipo (7 do tipo PE0, 7 do tipo PE1, 7 do tipo PE2, 7 do tipo PE3 e 7 do tipo PE4). Na Tabela 4.6 apresenta-se a designação atribuída a cada um dos 7 provetes e respectivos número de ciclos de ensaio e tempo de condicionamento na câmara de envelhecimento artificial acelerado.

Tabela 4.6: Designação atribuída aos Provetes Ensaiaados

<i>Provetes Ensaiaados</i>	<i>Número de Ciclos de Envelhecimento</i>	<i>Tempo</i>	<i>Designação dos Provetes Ensaiaados</i>
<b>PE0</b>	0	0	PE0.0
	1	12 horas	PE0.1
	14	1 semana	PE0.2
	28	2 semanas	PE0.3
	56	1 mês	PE0.4
	84	1 mês e 2 semanas	PE0.5
	112	2 meses	PE0.6
<b>PE1</b>	0	0	PE1.0
	1	12 horas	PE1.1
	14	1 semana	PE1.2
	28	2 semanas	PE1.3
	56	1 mês	PE1.4
	84	1 mês e 2 semanas	PE1.5
	112	2 meses	PE1.6
<b>PE2</b>	0	0	PE2.0
	1	12 horas	PE2.1
	14	1 semana	PE2.2
	28	2 semanas	PE2.3
	56	1 mês	PE2.4
	84	1 mês e 2 semanas	PE2.5
	112	2 meses	PE2.6
<b>PE3</b>	0	0	PE3.0
	1	12 horas	PE3.1
	14	1 semana	PE3.2
	28	2 semanas	PE3.3
	56	1 mês	PE3.4
	84	1 mês e 2 semanas	PE3.5
	112	2 meses	PE3.6
<b>PE4</b>	0	0	PE4.0
	1	12 horas	PE4.1
	14	1 semana	PE4.2
	28	2 semanas	PE4.3
	56	1 mês	PE4.4
	84	1 mês e 2 semanas	PE4.5
	112	2 meses	PE4.6

## 4.2.2 Preparação dos provetes

### 4.2.2.1. *Condicionamento dos materiais*

Colocaram-se os três componentes principais do sistema de revestimento cerâmico: placas de betão, cimentos-cola e ladrilhos cerâmicos, no Laboratório de Física de Construções – LFC, em condições de exposição normalizadas: 23 °C ( $\pm 2$  °C) de temperatura ambiente, 50 % ( $\pm 5$  %) de humidade relativa e uma circulação de ar inferior a 0,2 m/s, durante um período de 2 dias (48 horas), o dobro do período de tempo mínimo indicado pela norma NP EN 1348 [63] para condicionar os materiais antes da sua preparação para a realização dos ensaios de arrancamento por tracção (Figura 4.5).



Figura 4.5: Componentes do sistema de revestimento cerâmico utilizados na preparação dos provetes de ensaio: placas de betão, cimentos-cola e ladrilhos cerâmicos

### 4.2.2.2. *Preparação do cimento-cola*

Os cimentos-cola foram preparados de acordo com o prescrito no ponto 7 da Norma NP EN 1348 [63], seguindo todas as recomendações do fabricante para cada tipo de cimento-cola específico. A sua preparação foi acompanhada por um engenheiro químico da empresa fabricante dos cimentos-cola utilizados.

Foi preparada a quantidade mínima de pasta de cimento-cola prescrita na norma NP EN 1348 [63], de 2 kg, com o volume de água indicado pelo fabricante. Utilizou-se, na preparação, um misturador planetário, tipo batedeira. Este misturador foi accionado com uma velocidade baixa durante 30 segundos. Após 1 minuto de repouso, seguiu-se nova mistura, também a baixa velocidade mas com duração de 1 minuto. Depois de misturada

e obtida a pasta de cimento-cola, respeitou-se o *tempo de maturação*<sup>6</sup> estabelecido pelo fabricante, 10 minutos, misturando-se em seguida por mais 15 segundos.

#### **4.2.2.3. Aplicação do Cimento-cola e colagem dos Ladrilhos**

Em cada um dos 35 painéis de betão fabricados de acordo com a Norma Europeia EN 1323 [74], com 300x200x40 (mm), aplicou-se a pasta de cimento-cola e sobre esta foram colocados os ladrilhos cerâmicos com dimensões faciais de 50x50 mm<sup>2</sup>.

O cimento-cola foi aplicado sobre os painéis de betão secos e livres de partículas soltas e manchas que pudessem prejudicar a adesão ao suporte. Após a mistura, a pasta obtida foi aplicada sobre as placas de betão com uma talocha de bordo liso. Em seguida, seguindo as prescrições do ponto 8.1 da norma NP EN 1348 [63], aplicou-se uma camada mais espessa que se penteou com uma talocha dentada, de entalhes de 6x6 mm espaçados entre centros de 12 mm.

Em cada placa, sobre o cimento-cola e 5 minutos após a sua aplicação, colaram-se três ladrilhos cerâmicos, com a disposição visível nas fotografias a seguir apresentadas (Figura 4.6).



Figura 4.6: Fotografia de um provete do tipo PE0

#### **4.2.3 Designação dos ensaios**

Foram realizados ensaios sobre 5 tipos de amostras distintas que diferem no tipo de ladrilho, L0, L1 ou L2, e na classe de cimento cola utilizados, C2 ou C2S:

---

<sup>6</sup> O *Tempo de Maturação* corresponde ao intervalo de tempo entre o momento da mistura do cimento-cola e o tempo em que este fica pronto para ser aplicado, devendo ser expresso em minutos – EN 12004 [56], Março de 2004 (*Maturing time*).

Ensaio E0:	Ladrilho L0; Cimento-cola C2.
Ensaio E1:	Ladrilho L1; Cimento-cola C2.
Ensaio E2:	Ladrilho L1; Cimento-cola C2S.
Ensaio E3:	Ladrilho L2; Cimento-cola C2.
Ensaio E4:	Ladrilho L2; Cimento-cola C2S.

Os ensaios de curta duração E0, E1, E2, E3 e E4 compreendem ensaios de envelhecimento artificial acelerado (§ 4.2.4) e ensaios de tracção (§ 4.2.5). Os ensaios de tracção sobre os provetes só se realizam após o seu envelhecimento artificial na câmara climática durante o tempo de condicionamento previsto para cada provete.

#### **4.2.4 Ensaios de envelhecimento artificial acelerado**

O ensaio de envelhecimento acelerado consiste em submeter os provetes a condições extremas de utilização de modo a provocar a sua rápida degradação.

##### **4.2.4.1. Enquadramento normativo**

As normas que regulam os procedimentos de ensaio de envelhecimento artificial acelerado são muito reduzidas. A nível nacional desconhece-se a existência de qualquer norma desta índole. Das normas internacionais as que mais se adequam ao estudo desenvolvido são as seguintes:

- International Standards Organization:
  - ISO 15686 – *Buildings and constructed assets – Service Life Planning* [15].
  - ISO 4892-2 – Maio 1994 – *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 2: Xenon-arc sources* [76].
- Dansk Standard:
  - DS 1127 – *Dansk Standard, Julho 1985 – Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertical stilling* [77].

- American Standards TM:
  - ASTM D 4798 – Outubro 1981 – *Standard Test Method for Accelerated Weathering test Conditions and Procedures for Bituminous Materials (Xenon-Arc Method)* [78];
  - ASTM E 632 – Maio 1982 – *Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life Building Components and Materials* [20];
  - ASTM G 26 – Janeiro 1996 – *Standard Practice for Operating Light-exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Non-metallic Materials* [79];
  - ASTM C481 – Setembro 1962 – *Standard Method of Test for Laboratory Aging of Sandwich Constructions* [80].
- European Organisation for Technical Approvals:
  - EOTA Guidance Document GD 003 – Dezembro 2003 – *Assessment of working life of products* [19].
  - EOTA Technical Report TR 010 – Março 2000 – *Exposure procedure for artificial weathering* [81].

No entanto, os documentos normativos referidos não se adequam inteiramente ao estudo que pretendemos realizar por serem demasiado generalistas ou se referirem a outro tipo de material distinto do estudado, pelo que seguimos alguns estudos sobre durabilidade já publicados. Dos trabalhos consultados, que serviram de base aos procedimentos de ensaio seguidos nos trabalhos de investigação realizados, destacamos os seguintes:

- *Modelação do comportamento de revestimentos cerâmicos* – Miguel M. Mendes Abreu. Lisboa: IST, Novembro de 2001. Tese de Mestrado [82].
- *Durabilidade de Resistência de aderência à tracção de sistemas de revestimento cerâmico.* - Humberto Ramos Ramon, Orestes Alarcon, Denise Antunes da Silva, Leslie Maria Finger Romen e André Mate Segave. Revista Cerâmica Informação, UFSC/LABMAT/EMC, Florianópolis, v. 13, 2000 [83].
- *Experimental program to evaluate building components service life: first results on brickwork* – P.N. Maggi, M.G. Rejna, B. Daniotti, F. Re Cecconi, T. Poli, G. Rigamonti, A. Jornet e T. Teruzzi [84].
- *Durabilidade de tintas plásticas* – Maria Isabel Eusébio Marques – Informação Técnica Materiais de Construção, ITMC 2, Lisboa 1985 [85].
- *Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critérios de desempenho de materiais e componentes da Construção* – Humberto Ramos Ramon, Orestes Alarcon,

Denise Antunes da Silva, Leslie Maria Finger Romen e André Mate Segave, Coletânea Habitaré – vol. 3 – Normalização e Certificação na Construção Habitacional [37].

#### **4.2.4.2. Aparelhos e utensílios**

O Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LFC, FEUP) dispõe, para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado, de uma câmara programável – *Fitoclima 600 EDTU* (Figuras 4.7 e 4.8). Este equipamento funciona para as seguintes condições:

- Temperatura: entre -25 e 75 °C  $\pm$  0,5 °C;
- Humidade relativa: entre 30 e 99 %  $\pm$  3%;
- Radiação: entre 0 e 1639,99 W (lâmpada de Xénon 6000W);
- Pulverização: entre 0 e 8 l/min;
- Rotação: entre 0 e 10 r.p.m..

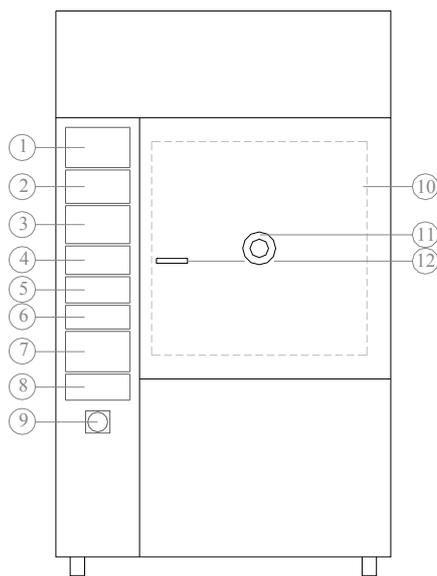


Figura 4.7: Câmara de envelhecimento – *Fitoclima 600 EDTU*



Figura 4.8: Painel de comando e interior da *Fitoclima 600 EDTU*

Na Figura 4.9 faz-se a representação esquemática do exterior, painel de comando e porta, do equipamento existente no Laboratório de Física das Construções – LFC.



Legenda:

Painel de controlo:

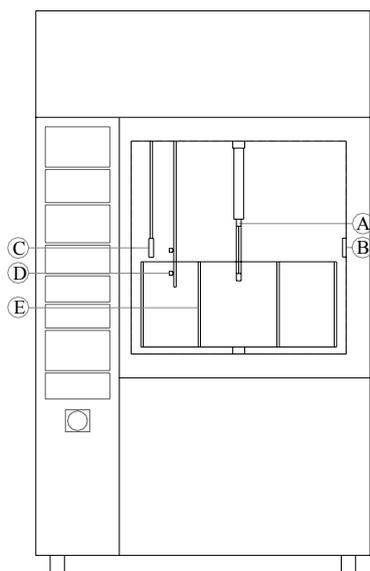
1. Registador
2. Programador *Fitoclima HT 8600*
3. Conta rotações do tambor (r.p.m.)
4. Programador Grasslin DIGI 56-72
5. Contador de horas
6. Leitor de temperatura da água (°C)
7. Painel de segurança - sinalização de anomalias
8. Potenciómetro da lâmpada de Arco de Xénon
9. Interruptor Geral

Porta:

10. Porta em aço inoxidável
11. Janela de observação com filtro UV
12. Fechadura da porta

Figura 4.9: Representação esquemática da câmara *Fitoclima 600 EDTU*.

Na Figura 4.10 faz-se a representação esquemática da câmara interior do equipamento existente no LFC.



Legenda:

Câmara Interior:

- A. Lâmpada de Arco-de-Xénon
- B. Passa-Muros para admissão de ar e entrada de sensores para calibração de temperatura, humidade e radiação
- C. Radiômetro, painel negro e painel branco
- D. Bicos pulverizadores para simulação de chuva
- E. Tambor porta provetes

Figura 4.10: Representação esquemática da câmara *Fitoclima 600 EDTU*

A descrição pormenorizada deste equipamento: características fundamentais, especificações de funcionamento e programação, encontram-se no Anexo II. A distribuição no interior da câmara da lâmpada de Arco-de-Xénon, dos bicos pulverizadores e do tambor obedece ao estabelecido pela normalização aplicável para os procedimentos de ensaio de envelhecimento artificial acelerado sobre materiais não metálicos – ASTM G26 [79] e EOTA TR010 [81].

**4.2.4.3. Procedimentos de ensaio**

Os provetes, devidamente preparados (§ 4.2.2), estiveram acondicionados nas condições laboratoriais normalizadas, durante um período de, pelo menos, 28 dias.

Após esse período, submeteram-se os provetes a ensaios de envelhecimento acelerado, colocando seis painéis, de cada vez, no tambor da câmara climática *Fitoclima 600 EDTU* da *Aralab*, com a face revestida voltada para o centro.

A duração total de um ciclo de envelhecimento completo é de 12 horas (720 minutos) e compreende os seguintes passos:

- Passo 1 – *Início*:
  - Este primeiro passo tem a duração de 1 minuto e serve apenas para, ao iniciar o ciclo de ensaios, a câmara atingir os valores da humidade relativa e da temperatura pretendidos o mais rápido possível. A temperatura e humidade programados são os requeridos no passo seguinte, 20°C e 95 %, respectivamente.
  
- Passo 2 – *Chuva*<sup>7</sup>:
  - Neste passo os provetes são pulverizados com água a 20°C. A temperatura no interior da câmara é de 20°C e a humidade relativa superior a 95%. A duração deste passo é de 139 minutos.
  
- Passo 3 – *Transição de Chuva para Congelamento*:
  - Ao longo dos 30 minutos de duração deste passo as condições de humidade e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no passo seguinte. Assim, em 30 minutos a temperatura desce dos 20°C para os -10°C e a humidade relativa dos mais de 95% aos 60%.
  
- Passo 4 – *Congelamento*:
  - Os provetes ficam sujeitos a uma temperatura ambiente de -10°C e a uma humidade relativa de 60% durante 140 minutos.
  
- Passo 5 – *Transição de Congelamento para Temperatura e H.R. Elevadas*:
  - Ao longo de 60 minutos correspondentes à duração deste passo as condições de humidade e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no passo seguinte.
  
- Passo 6 – *Temperatura e Humidade Relativa Elevadas*:
  - Durante 180 minutos a temperatura é mantida constante a 50 °C e a humidade relativa acima dos 95 %.
  
- Passo 7 – *Transição de Temperatura e H.R. Elevadas para Radiação*:

---

<sup>7</sup> *Chuva*: este termo refere-se ao efeito provocado pela dispersão de água dos bicos pulverizadores.

- Ao longo de 20 minutos correspondentes à duração deste passo as condições de humidade e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no passo seguinte.

— Passo 8 – *Radiação*:

- Este passo tem a duração de 140 minutos. Os provetes recebem a radiação da lâmpada de Xénon ao longo de toda a duração do passo. Durante este período a temperatura do ar mantém-se elevada, 30 °C, e a humidade relativa baixa, 40%.

— Passo 9 – Transição de *Radiação* para o *Início*:

- Ao longo de 10 minutos correspondentes à duração deste passo as condições de humidade e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no primeiro passo.

Na Tabela 4.7 sintetizam-se os 9 passos do programa, anteriormente descritos, em relação a cada parâmetro programado: Humidade Relativa, Temperatura, Chuva e Radiação.

Tabela 4.7: Passos de um ciclo completo do ensaio de envelhecimento acelerado.

<i>Passo</i>	<i>Tempo</i> [min]	<i>Tempos</i> <i>Acumulados</i> [min]	<i>Humidade</i> <i>Relativa</i> [%]	<i>Temperatura</i> [°C]	<i>Radiação/Chuva</i>
1	1	1	95	20	
2	139	140	95	20	Chuva – ON
3	30	170	95	20	Chuva – OFF
4	140	310	60	-10	
5	60	370	60	-10	
6	180	550	95	50	
7	20	570	95	50	
8	140	710	40	30	Radiação – ON
9	10	720	40	30	Radiação – OFF

A Figura 4.11 representa o gráfico da variação da Humidade Relativa e da Temperatura, bem como a acção da radiação e da chuva durante um ciclo de 12 horas (720 minutos).

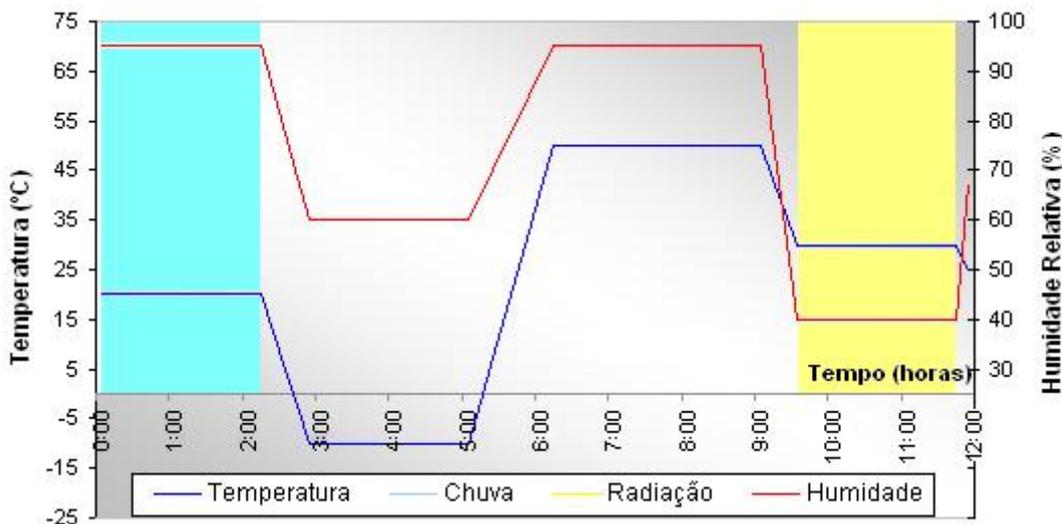


Figura 4.11: Ciclo programado – 12 horas (720 minutos)

Os valores limites da Temperatura e da Humidade Relativa foram estabelecidos de modo a ultrapassarem ligeiramente as condições climáticas mais adversas que uma parede exterior poderia experimentar em Portugal, estabelecendo-se, assim, condições extremas de dilatação e contracção térmica e higríca.

#### 4.2.4.4. Registos

O programador *Fitoclíma HT 8600*, que permite a introdução dos valores da Humidade Relativa e da Temperatura de cada passo de um ciclo, possui dois visores digitais. O visor 1, visor da Humidade Relativa, faculta, a qualquer momento do ciclo, a visualização dos seguintes parâmetros relativos ao passo em marcha:

- A Humidade Relativa programada;
- A Temperatura programada;
- Minutos decorridos no passo;
- Horas reais decorridas desde o começo do programa;
- Horas que faltam para terminar o programa;
- Número de repetições que faltam do mesmo programa.

O visor 2, visor da Temperatura, faculta, a qualquer momento do ciclo, a visualização dos seguintes parâmetros relativos ao passo em marcha:

- A Humidade Relativa acima da qual se inicia a secagem;

- A Temperatura acima da qual se inicia a refrigeração;
- Minutos que faltam para acabar o passo;
- Minutos reais decorridos desde o começo do programa;
- Minutos que faltam para terminar o programa.

Dos registos observados apresenta-se, na Tabela 4.8, um referente ao 2º passo do programa constituído por nove passos.

Tabela 4.8: Registo do programador *Fitoclíma HT 8600* – Passo 2.

Data: 28 de Junho de 2004	Hora: 12:57				Programa: 1	Passo: 2
Visor 1			Visor 2			
Humidade Relativa	99.4		20.9		Temperatura	
Humidade Programada	WH	95	96	WS	Humidade acima da qual se inicia a secagem	
Temperatura programada	WC	20	21	WF	Temperatura acima da qual se inicia a refrigeração	
Minutos decorridos no passo	MT	56	83	MF	Minutos que faltam para acabar o passo	
Horas decorridas desde o começo do programa	HT	0	57	MT	Minutos reais decorridos desde o início do programa	
Horas que faltam para terminar o programa	HF	11	3	MF	Minutos que faltam para terminar o programa	
Número de repetições que faltam do mesmo programa	NRPF	1				

Os gráficos obtidos em cada instante pelo registador incorporado no painel de comando da câmara de envelhecimento *Fitoclíma 600 EDTU* servem para controlar os dados inseridos no programador *Fitoclíma HT 8600*. A figura que a seguir se apresenta (Figura 4.12) mostra um excerto desses registos. Assim a vermelho está representada a Humidade Relativa, a verde a Temperatura e a azul a Temperatura de corpo negro. A leitura do registo (Figura 4.12) deve ser feita da direita para a esquerda, seguindo a ordem cronológica visível na parte inferior do registo.

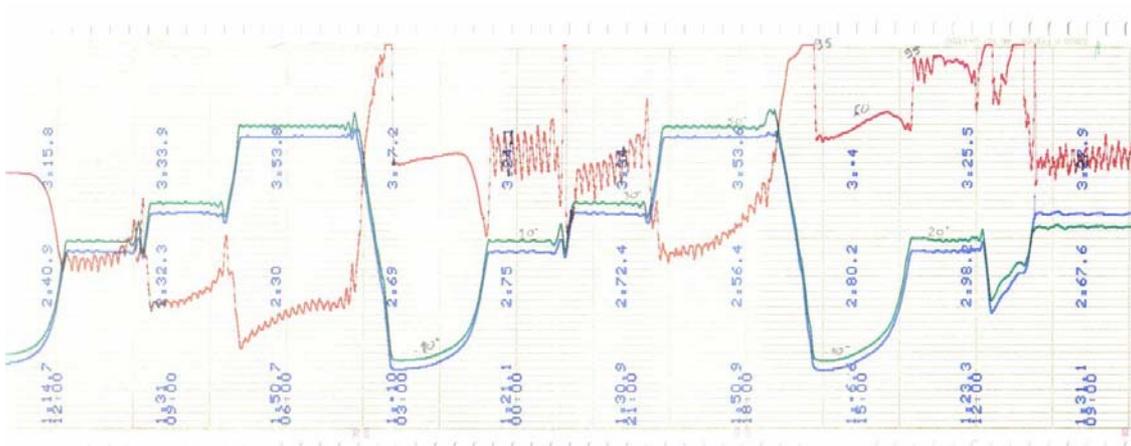


Figura 4.12: Registo da Humidade e Temperatura entre as 9 horas do dia 30 de Junho de 2004 e as 12 horas do dia 1 de Julho de 2004

#### 4.2.4.5. *Funcionamento da câmara climática Fitoclima 600 EDTU*

A câmara climática foi preparada para os ensaios de envelhecimento artificial acelerado sobre os provetes representativos de um sistema de revestimento cerâmico aderente. Nos meses de Novembro e Dezembro criaram-se, na câmara climática *Fitoclima 600 EDTU*, todas as condições, exigidas pela normalização vigente, necessárias à exposição ao envelhecimento artificial do material em estudo.

Com o objectivo de verificar o correcto funcionamento da câmara climática, relativamente à programação da Temperatura e da Humidade Relativa, durante os meses de Janeiro e Fevereiro, definiram-se ciclos distintos no programador *Fitoclima HT 8600* (programador da Temperatura e Humidade Relativa, ver Anexo II). Inicialmente, tanto os registos referentes à Humidade Relativa como os registos da Temperatura (ver registo da Figura 4.13), não coincidiam com os valores programados (gráfico da Figura 4.15).

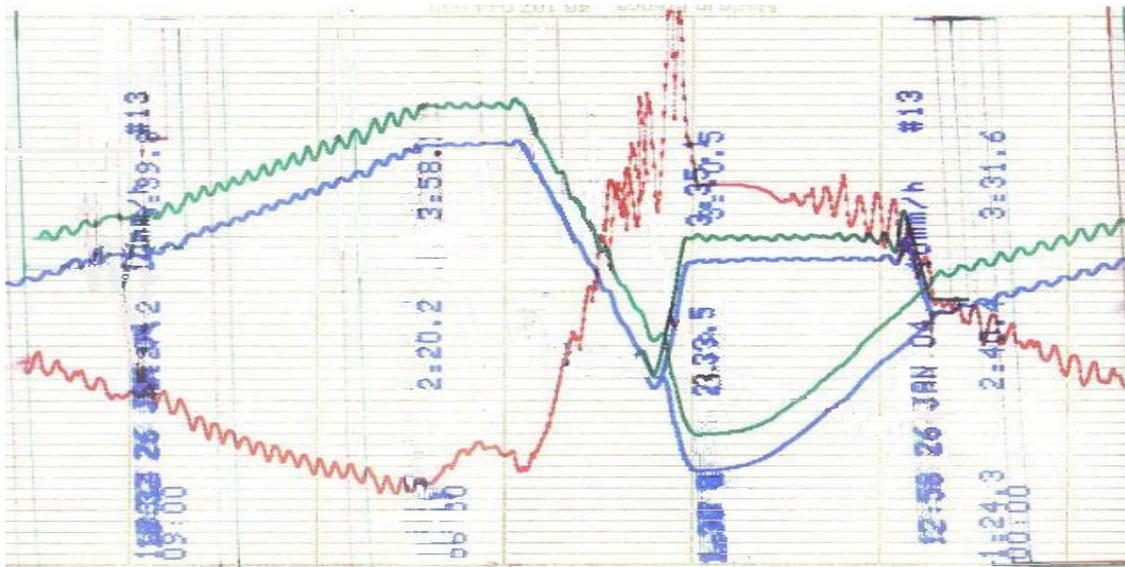


Figura 4.13: Registo de um programa teste

No entanto, foi mais fácil estabilizar a Temperatura no interior da câmara climática do que a Humidade Relativa. Na tentativa de estabilizar os valores da Humidade Relativa desenvolveram-se ciclos onde se fez variar apenas este parâmetro para uma determinada temperatura constante (ver exemplo Figura 4.14). Após um período, de aproximadamente um mês, de funcionamento continuado da câmara climática, estabilizaram-se os registos de ambos os parâmetros.

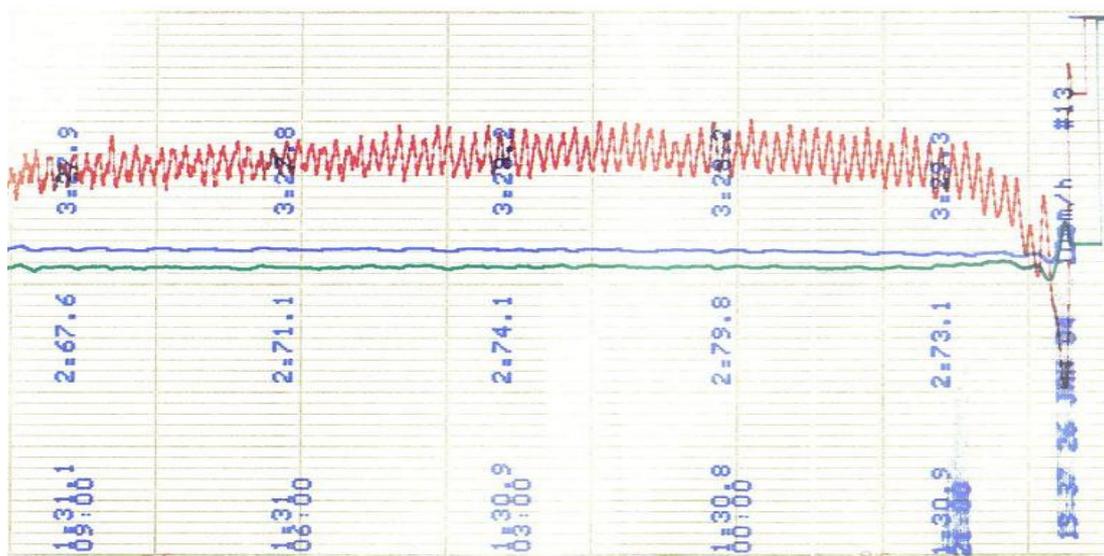


Figura 4.14: Registo de um programa teste a temperatura constante

Podemos observar, pela comparação do registo de 3 ciclos consecutivos (Figura 4.12) com o gráfico dos valores programados (Figura 4.15), também de 3 ciclos, que as Temperaturas coincidem com o programado.

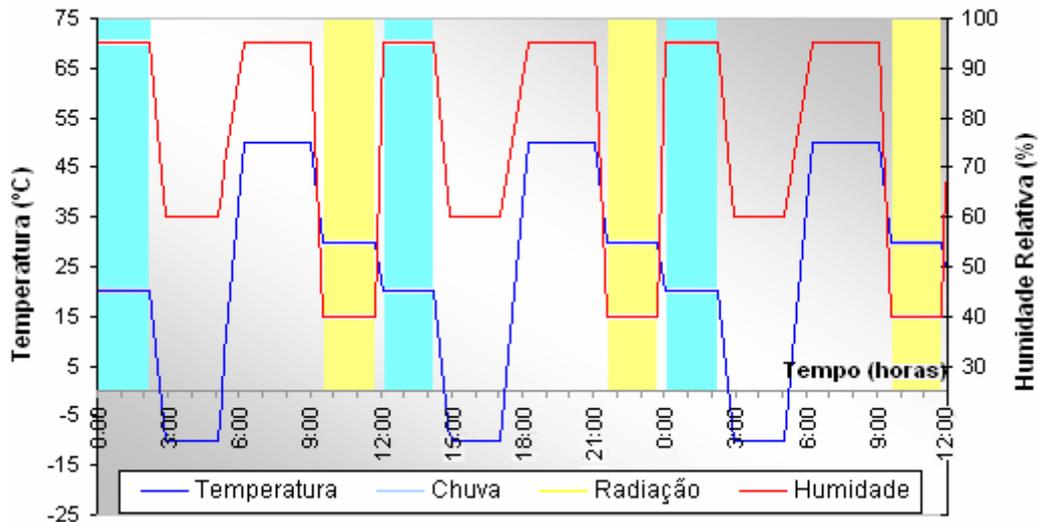


Figura 4.15: Gráfico dos valores programados – 3 ciclos consecutivos

Em relação ao registo da Humidade Relativa verificamos que mesmo programando um valor elevado, se a lâmpada de Arco de Xénon estiver ligada, o efeito de secagem provocado pela radiação sobrepõe-se ao da humidificação programada. Ao contrário, se o valor da Humidade Relativa programado for baixo mas os bicos dispersores de água (para simulação do efeito da chuva) estiverem em funcionamento os valores registados serão de aproximadamente 100%. Na passagem da temperatura de -10°C para os 50°C, no 6º passo do programa, regista-se uma Humidade Relativa de aproximadamente 100%, valor superior ao valor programado. O aquecimento no interior da câmara conduz à passagem da água do estado sólido ao estado líquido, o que justifica a condensação observada nesse registo. Nas Figuras 4.16 e 4.17 apresentamos o registo comentado de algumas das situações citadas.

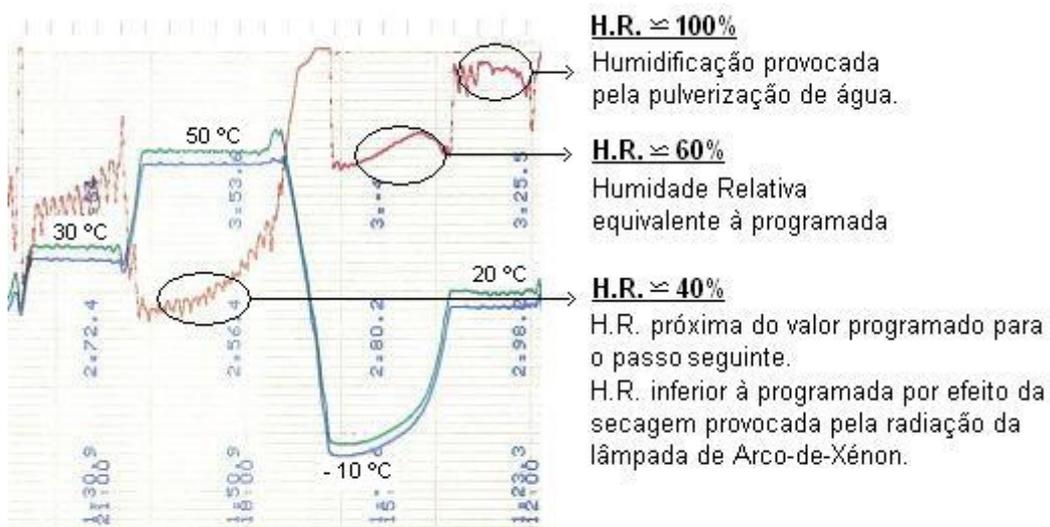


Figura 4.16: Registo comentado da Humidade Relativa e da Temperatura.

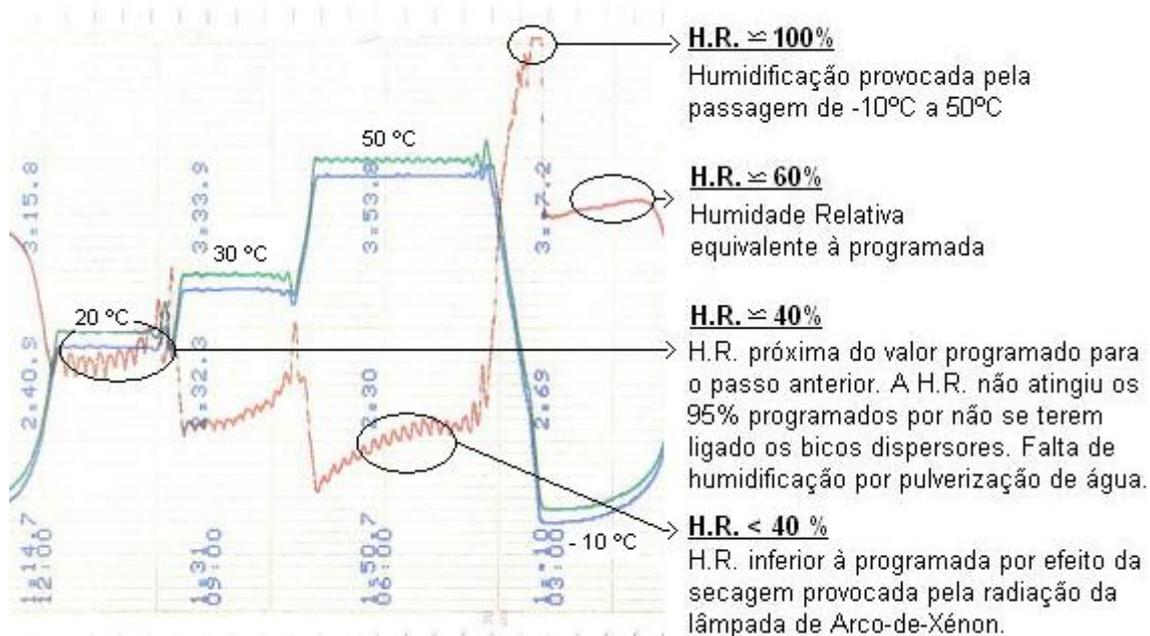


Figura 4.17: Registo comentado da Humidade Relativa e da Temperatura.

Durante este período inicial de teste, onde a câmara de envelhecimento artificial acelerado esteve em funcionamento sem provetes de ensaio, verificou-se o aparecimento de manchas de ferrugem no seu interior, em aço inoxidável. Veio a constatar-se que o amarelecimento das superfícies interiores da câmara era provocado pela água de abastecimento ao equipamento. Foi necessário corrigir a rede de alimentação de água ao equipamento, o que impediu, durante largos meses, o desenvolvimento normal dos trabalhos experimentais.

Depois de corrigida a rede de alimentação de água ao equipamento, voltou-se a ligar a câmara sem provetes até que se estabilizassem novamente os ciclos de Humidade Relativa e Temperatura.

Já durante a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado sobre os provetes houve necessidade de substituir a lâmpada de Arco-de-Xénon, por avaria. No entanto, para a sua substituição não foi necessário interromper o funcionamento da câmara por mais de 24 horas. De modo que, ao accionar de novo a câmara, o programa em curso, antes da paragem para substituição da lâmpada, recomeçou exactamente no ponto onde tinha parado.

#### **4.2.4.6. Conclusões parciais dos ensaios de envelhecimento acelerado**

Os ensaios de envelhecimento têm como principal objectivo a observação do decréscimo do desempenho do cimento-cola relativamente à tensão de aderência. Tal, só se concretiza com a realização dos ensaios de tracção sobre os provetes envelhecidos durante períodos de tempo sucessivamente maiores. A variação dos valores da tensão de resistência à tracção com o número de ciclos de envelhecimento a que os provetes ficam sujeitos é que irá permitir observar a degradação desta característica ao longo do tempo.

#### **4.2.5 Ensaios de arrancamento por tracção**

A tensão de aderência pode ser quantificada pela tensão de aderência obtida em ensaios de arrancamento. Nos ensaios de arrancamento por tracção determina-se, então, a força necessária para provocar a rotura numa determinada área de revestimento. O ensaio de arrancamento consiste, essencialmente, na determinação da força de tracção máxima que é necessário aplicar numa área circular, com diâmetro de 50 mm, de revestimento aplicado sobre o suporte. A tensão de aderência é a razão entre a força obtida e a área de revestimento arrancada. Esta pode representar a tensão de aderência ou o seu limite inferior, consoante a rotura é, respectivamente, adesiva ou coesiva.

##### **4.2.5.1. Enquadramento normativo**

A norma europeia que regula os procedimentos do ensaio de determinação da resistência à tracção dos cimentos-cola é a:

- EN 1348 – Colas para ladrilhos: Determinação da resistência à tracção de cimentos-cola [63].

Para além da norma referida existe a seguinte ficha de ensaio do Departamento de Edifícios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC:

- FE Pa 36 – Ficha de Ensaio: Revestimentos de paredes Ensaios de arrancamento por tracção [103].

#### 4.2.5.2. *Aparelhos e utensílios*

O aparelho utilizado nos ensaios de determinação da resistência à tracção de cimentos-cola foi um aparelho electrónico com capacidade máxima de 1000 daN (Figura 4.18), descrito detalhadamente no Anexo-I.



Figura 4.18: Aparelho de medição da resistência à tracção.

Para além do aparelho de medição propriamente dito utilizaram-se, nos ensaios de arrancamento, pastilhas metálicas cilíndricas, com 50 mm de diâmetro e 10 mm de espessura, providas, numa das faces, de uma rosca perfeitamente centrada e uma cola de alta resistência à base de resina epoxidica (Figura 4.19).



Figura 4.19: Cola de alta resistência e pastilha metálica cilíndrica.

#### 4.2.5.3. *Procedimentos de ensaio*

Os ensaios de determinação da tensão de aderência dos cimentos-cola realizam-se sobre os provetes PE0.0, PE1.0, PE2.0, PE3.0 e PE4.0, após 28 dias de condicionamento num ambiente atmosférico normalizado caracterizado por  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  de temperatura e  $50 \pm 5\%$

de humidade relativa. Sobre os restantes provetes só se realizaram os ensaios de arrancamento após os ciclos de envelhecimento estabelecidos para cada provete.

A preparação para os ensaios de determinação da resistência à tracção inicia-se com a colagem, devidamente centrada sobre os ladrilhos cerâmicos, das pastilhas metálicas com uma cola de alta resistência (Figura 4.20). Deixa-se a cola secar durante, pelo menos, 48 horas.



Figura 4.20: Colagem das pastilhas metálicas com cola de alta resistência

Antes de se iniciar o arrancamento, verifica-se o zero no manómetro (Figura 4.21). Inicia-se a medição até que se verifique a rotura do plano de contacto do revestimento com o suporte. Lê-se no mostrador do manómetro e regista-se o valor da força máxima exercida. Regista-se a tipologia da rotura observada.



Figura 4.21: Ensaio de determinação da resistência à tracção de cimentos-cola – E1

Apesar de a norma EN 1348 [63] referir a necessidade de determinar dez valores para, a partir destes, calcular o valor final da resistência à tracção, apenas se efectuaram três medições por cada tipo de provete estudado. O tempo de condicionamento na câmara climática de envelhecimento artificial limitou o número de medições realizadas. No entanto, a proximidade dos valores medidos, com um desvio máximo relativo ao valor médio igual a 7%, permitem admitir como aceitáveis os valores obtidos. Assim, considerou-se a força de rotura,  $F$ , a média das três medições efectuadas.

A tensão de aderência,  $\sigma_a$ , em MPa, é a razão entre a força de rotura média,  $F_{\text{média}}$ , em daN, e a área da pastilha metálica,  $S$ , em  $\text{mm}^2$  ( $1963,5 \text{ mm}^2$ ):

$$\sigma_a = \frac{F_{\text{média}}}{S} \quad (4.1)$$

#### **4.2.5.4. Registos**

Os boletins de registo dos ensaios de tracção realizados sobre o total dos provetes em estudo são os apresentados no Anexo III.

#### **4.2.5.5. Funcionamento do aparelho de medição da aderência**

No aparelho de medição da aderência por tracção disponível no LFC existe um desfasamento entre os valores da força de tracção lidos e os valores efectivamente exercidos pelo aparelho.

As leituras directas da força de rotura medidas com o aparelho disponível são as apresentadas no Anexo III. No entanto, os valores que se apresentam nos parágrafos seguintes como resultados das medições efectuadas já tiveram em consideração o desfasamento do equipamento, representando, portanto, os valores efectivamente exercidos pelo aparelho.

No gráfico seguinte, Figura 4.22, está representado o desfasamento que o aparelho utilizado nos ensaios de arrancamento por tracção apresenta.

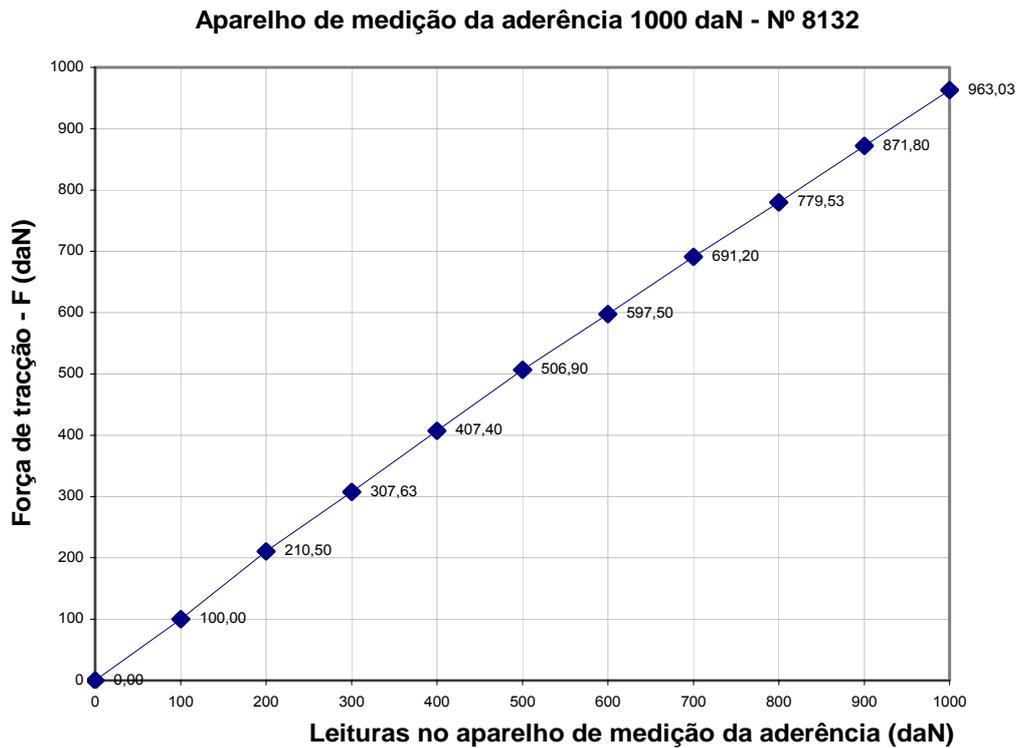


Figura 4.22: Gráfico representativo do desfasamento entre as leituras e a força de tracção efectiva

#### 4.2.5.6. Conclusões parciais dos ensaios de arrancamento por tracção

Os resultados parciais relativos unicamente aos ensaios de arrancamento por tracção apenas nos reportam ao valor da tensão de aderência no momento inicial, antes do provete ser submetido a qualquer ciclo de envelhecimento artificial acelerado.

O valor da tensão de aderência,  $\sigma_a$ , obtido de acordo com o descrito no § 4.2.6.3, sobre os provetes não envelhecidos, caracteriza o desempenho do cimento-cola quanto à resistência à tracção aos 28 dias. Na Tabela 4.9 apresentam-se os valores da tensão medidos e os valores de referência indicados pela empresa fabricante do produto.

Tabela 4.9: Resistência à tracção medida e de referência

<i>Ensaio</i>	<i>Provetes Ensaiaados</i>	<i>Classe do Cimento-Cola</i>	<i>Valor de Referência [MPa]</i>	<i>Valor medido* [MPa]</i>
E0	PE0.0	C2	1,5	2,17
E1	PE1.0	C2	1,5	3,17
E2	PE2.0	C2S	2,0	-
E3	PE3.0	C2	1,5	2,62
E4	PE4.0	C2S	2,0	-

\* Valor calculado a partir do valor médio da Força de Rotura (ver Tabela 4.11)

Verificou-se que os valores da tensão medidos aos 28 dias são superiores aos limites mínimos de referência indicados pelo fabricante do produto. Para os ensaios E2 e E4, relativos a cimentos-cola da classe C2S, não se apresentam os valores da tensão medidos, já que, a rotura observada nos provetes PE2.0 e PE4.0 foi do tipo coesiva no seio do suporte e portanto os valores obtidos não se referem à tensão de aderência do cimento-cola, mas sim à da placa de betão que constitui o suporte (§ 4.3.2).

### 4.3 RESULTADOS GLOBAIS

#### 4.3.1 Considerações gerais

Neste parágrafo apresentamos os valores globais relativos ao conjunto de ensaios realizados para o estudo do desempenho ao longo da vida útil do cimento-cola. A realização proposta dos ensaios de envelhecimento artificial acelerado seguidos de ensaios de arrancamento por tracção, permitiu observar o decréscimo, ao longo do tempo, da aderência do sistema de revestimento cerâmico ao suporte.

#### 4.3.2 Registos

Na Tabela 4.10, apresentam-se, de forma sintetizada, os valores obtidos nos ensaios de arrancamento por tracção após o número de ciclos de envelhecimento indicado.

Tabela 4.10: Valor médio da Força de Rotura -  $F_{\text{médio}}$ 

Ensaio	Provetes Ensaaiados	Número de ciclos	F [daN]			$F_{\text{média}}$ [daN]	Desvio Relativo ao Valor Médio	
			F1	F2	F3		- 20 %	+ 20 %
E0	PE0.0	0	423	417	436	425	340	510
	PE0.1	1	433	412	427	424	339	509
	PE0.2	14	401	388	392	394	315	472
	PE0.3	28	377	361	381	373	298	448
	PE0.4	56	296	307	313	305	244	366
	PE0.5	84	233	217	201	217	174	260
	PE0.6	112	155	142	137	145	116	174
E1	PE1.0	0	622	628	619	623	498	748
	PE1.1	1	611	617	626	618	494	742
	PE1.2	14	575	583	593	584	467	700
	PE1.3	28	496	499	513	503	402	603
	PE1.4	56	392	401	412	402	321	482
	PE1.5	84	286	293	304	294	235	353
	PE1.6	112	156	167	177	167	133	200
E2	PE2.0	0	741	745	780	755	604	906
	PE2.1	1	733	749	776	753	602	903
	PE2.2	14	748	757	782	762	610	915
	PE2.3	28	633	663	658	651	521	782
	PE2.4	56	484	555	576	538	431	646
	PE2.5	84	441	472	495	469	375	563
	PE2.6	112	407	411	417	412	329	494
E3	PE3.0	0	497	512	537	515	412	618
	PE3.1	1	491	512	534	512	410	615
	PE3.2	14	476	489	493	486	389	583
	PE3.3	28	329	347	351	342	274	411
	PE3.4	56	288	299	291	293	234	351
	PE3.5	84	201	232	237	223	179	268
	PE3.6	112	145	139	155	146	117	176
E4	PE4.0	0	751	737	761	750	600	900
	PE4.1	1	754	733	761	749	599	899
	PE4.2	14	755	731	743	743	594	892
	PE4.3	28	611	623	637	624	499	748
	PE4.4	56	522	539	559	540	432	648
	PE4.5	84	481	467	455	468	374	561
	PE4.6	112	372	381	398	384	307	460

Segundo a norma EN1348 [63] os valores da força de tracção medidos que caem fora do intervalo de  $\pm 20\%$  do valor médio devem ser retirados. Nas medições efectuadas registaram-se valores muito próximos e portanto afastados dos limites, superior e inferior, do desvio máximo admissível de  $\pm 20\%$ . Nos gráficos seguintes (Figuras 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27) podemos observar essa proximidade dos valores da força de tracção registados e verificar que nenhuma das medições efectuadas cai fora do limite imposto. Pode, pois, considerar-se que há uma reprodutibilidade de resultados.

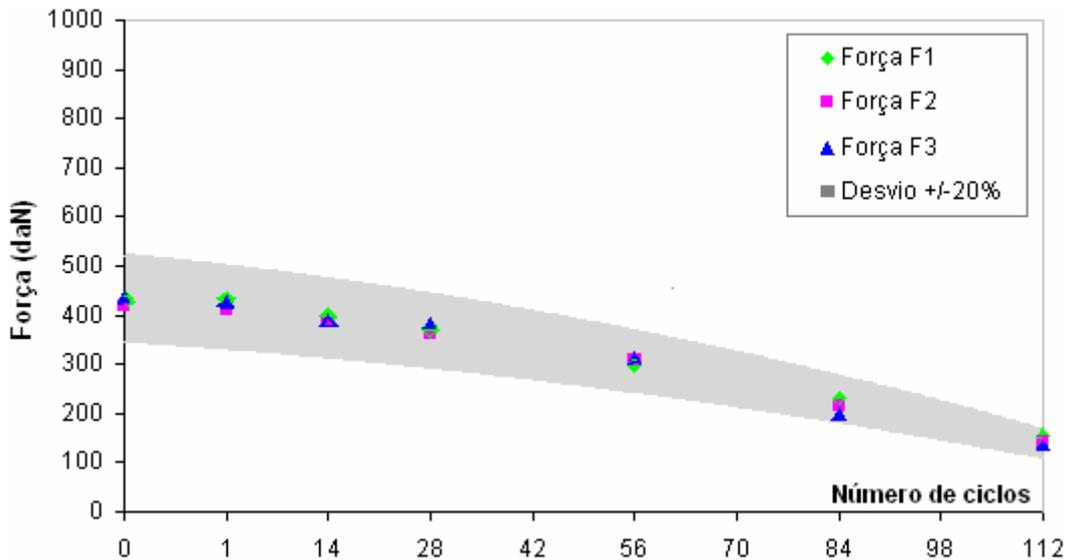


Figura 4.23: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE0: L0 e C2

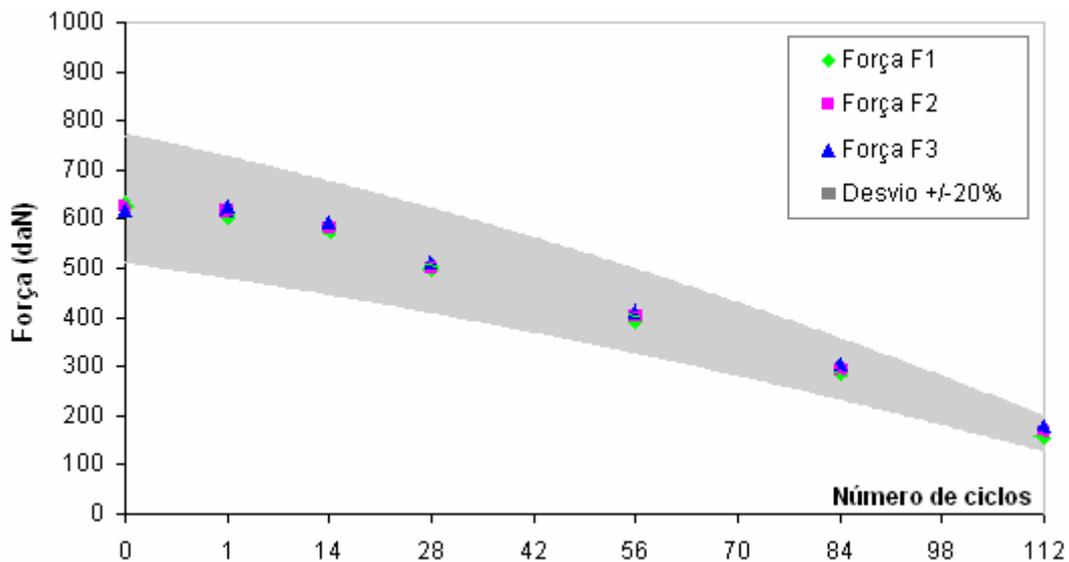


Figura 4.24: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE1: L1 e C2

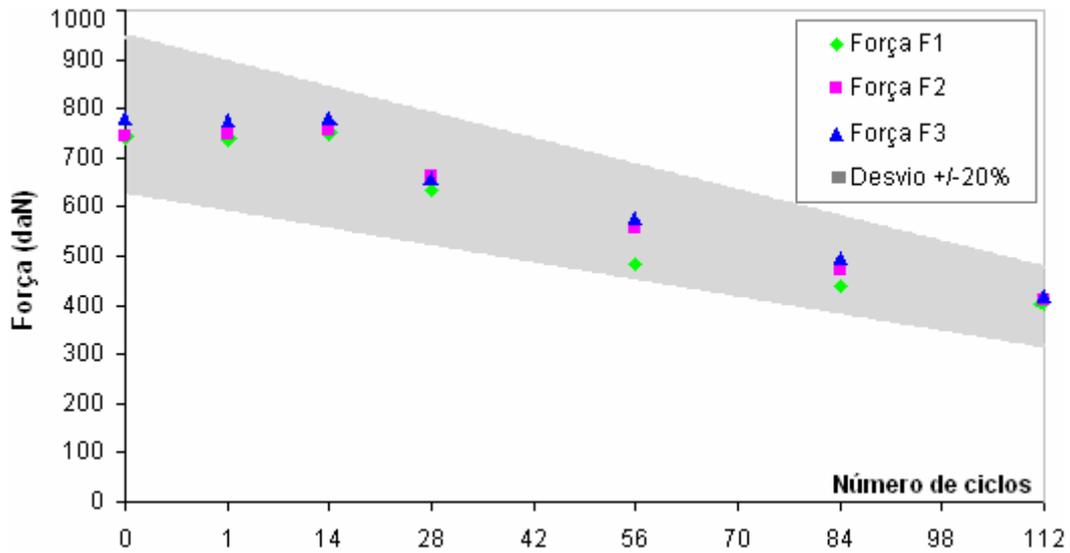


Figura 4.25: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE2: L1 e C2S

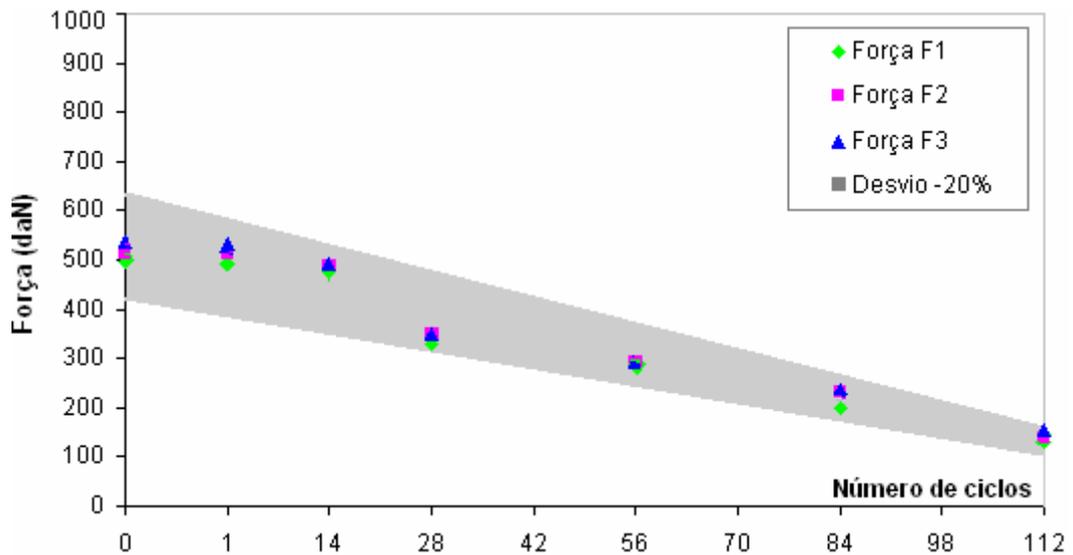


Figura 4.26: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE3: L2 e C2

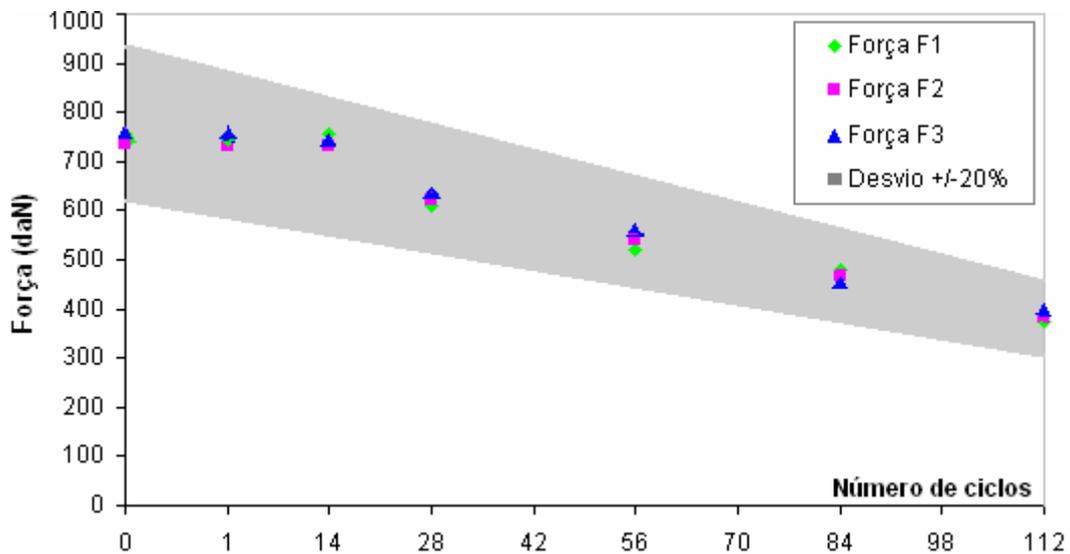


Figura 4.27: Registo de valores da Força de tracção – Provetes PE4: L2 e C2S

Nos ensaios de arrancamento por tracção é fundamental identificar o tipo de rotura observado (Tabela 4.11). O conhecimento das tipologias de rotura é essencial pois a tensão que se obtém no ensaio representa a tensão de aderência ou o seu limite inferior, consoante a rotura é adesiva ou coesiva, respectivamente.

A rotura adesiva pode ser de três tipos: rotura adesiva na interface entre o cimento-cola e o suporte (Figura 4.28), rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola (Figura 4.29), rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e a pastilha metálica de arrancamento<sup>8</sup> (Figura 4.30).

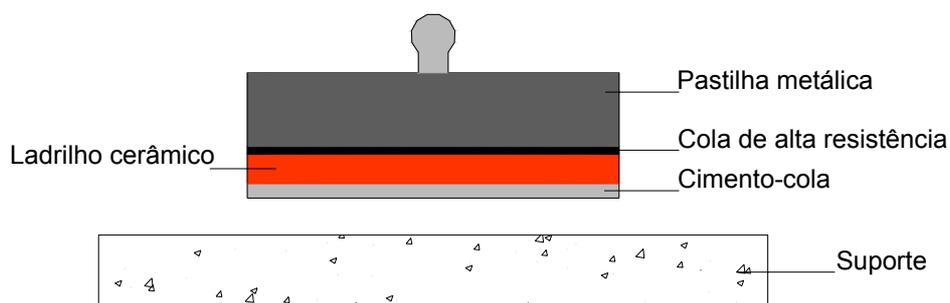


Figura 4.28: Rotura adesiva na interface entre o cimento-cola e o suporte.

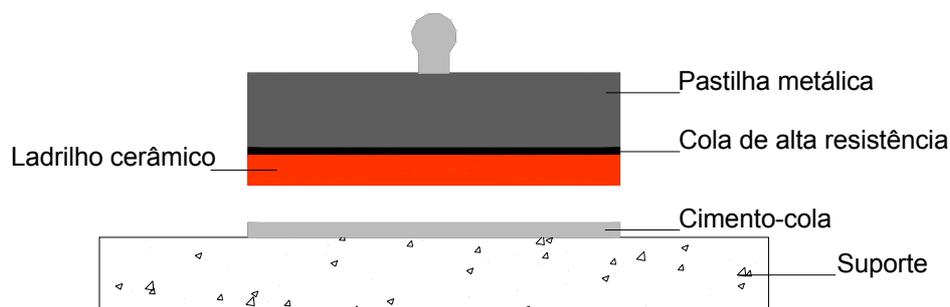


Figura 4.29: Rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola.

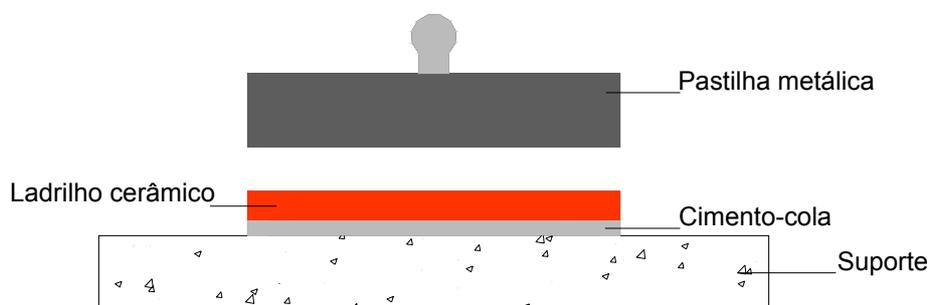


Figura 4.30: Rotura adesiva na interface entre ladrilho cerâmico e a pastilha metálica.

<sup>8</sup> Rotura adesiva provocada por erro de ensaio na colagem das pastilhas metálicas com cola de alta resistência à base de resina epoxídica.

Quando a rotura ocorre no seio do cimento-cola (Figura 4.31), no seio do ladrilho cerâmico (Figura 4.32) ou no seio do suporte (Figura 4.33) é designada por rotura coesiva.

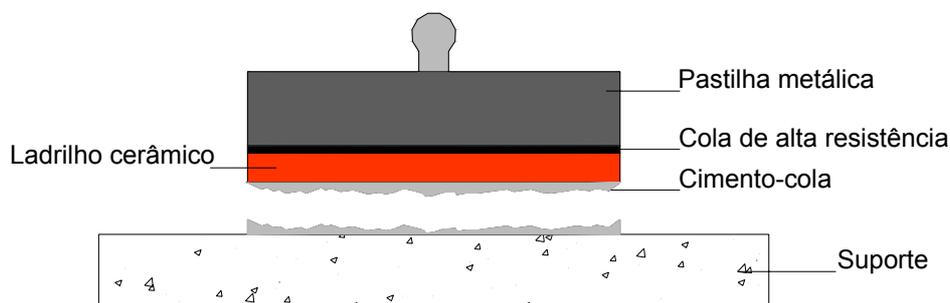


Figura 4.31: Rotura coesiva no seio do cimento-cola.

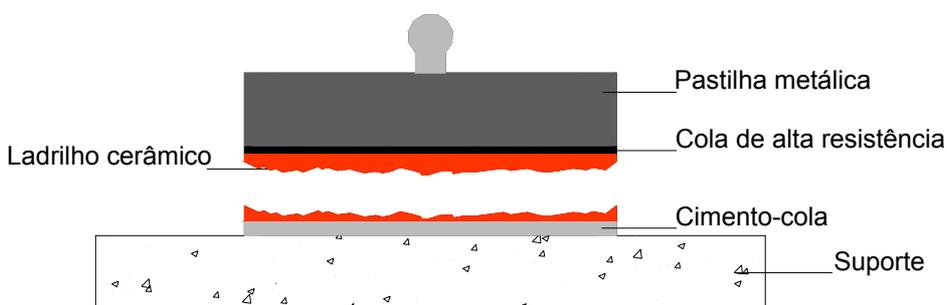


Figura 4.32: Rotura coesiva no seio do ladrilho cerâmico.

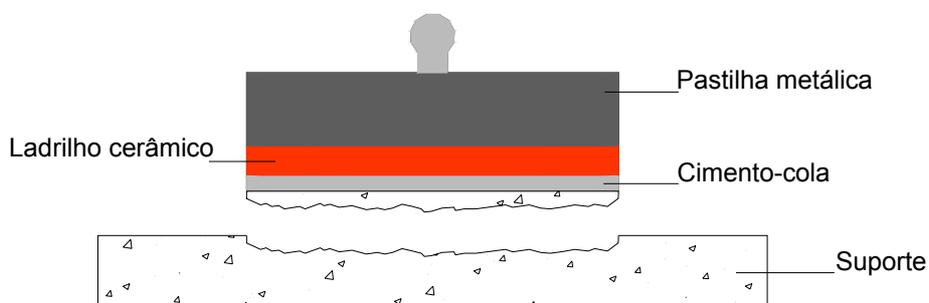


Figura 4.33: Rotura coesiva no seio do suporte.

Nos ensaios de arrancamento por tracção realizados sobre o cimento-cola da classe C2 e nos ladrilhos cerâmicos do tipo L0, ensaios E0, observou-se essencialmente a rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola (Figura 4.34).



Figura 4.34: Rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola – Provete PE0.2.

Nos restantes ensaios, E1, E2, E3 e E4 o tipo de rotura observado foi do tipo coesiva no seio do cimento-cola. Contudo, nos ensaios sobre os provetes PE2.0, PE2.1, PE4.0 e PE4.1 observou-se a rotura coesiva no seio do suporte (Figura 4.35), tendo-se registado apenas um caso onde a rotura coesiva se deu no seio do ladrilho cerâmico (Figura 4.36).



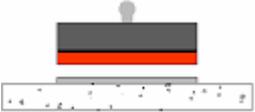
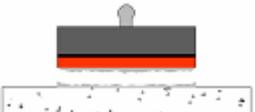
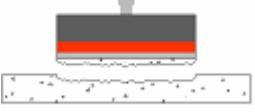
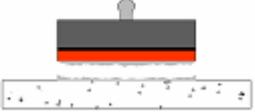
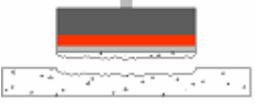
Figura 4.35: Rotura coesiva no seio do suporte – Provete PE4.1.



Figura 4.36: Rotura coesiva no seio do ladrilho cerâmico – Provete PE4.1.

De acordo com o referido no § 4.2.6.3 calculámos a Tensão de Aderência –  $\sigma_a$  (MPa), sendo os valores obtidos os apresentados na Tabela 4.11 tendo-se ainda acrescentado o registo do tipo de rotura observada.

Tabela 4.11: Tensão de aderência  $\sigma_a$  (MPa)

<i>Ensaio</i>	<i>Provete</i>	<i>Número de Ciclos</i>	$F_{média}$ [daN]	$\sigma_a$ [MPa]	<i>Rotura</i>
E0 Ladrilho L0: - E=0,02% Cimento-cola: - Classe C2	PE0.0	0	425	2,17	Adesiva 
	PE0.1	1	424	2,16	
	PE0.2	14	394	2,00	
	PE0.3	28	373	1,90	
	PE0.4	56	305	1,56	
	PE0.5	84	217	1,11	
	PE0.6	112	145	0,74	
E1 Ladrilho L1: - E=2,74% Cimento-cola: - Classe C2	PE1.0	0	623	3,17	Coesiva 
	PE1.1	1	618	3,15	
	PE1.2	14	584	2,97	
	PE1.3	28	503	2,56	
	PE1.4	56	402	2,05	
	PE1.5	84	294	1,50	
	PE1.6	112	167	0,85	
E2 Ladrilho L1: - E=2,74% Cimento-cola: - Classe C2S	PE2.0	0	755	3,85	Coesiva 
	PE2.1	1	753	3,83	
	PE2.2	14	762	3,88	
	PE2.3	28	651	3,32	
	PE2.4	56	538	2,74	
	PE2.5	84	469	2,39	
	PE2.6	112	412	2,10	
E3 Ladrilho L2: - E=5 % Cimento-cola: - Classe C2	PE3.0	0	515	2,62	Coesiva 
	PE3.1	1	512	2,61	
	PE3.2	14	486	2,48	
	PE3.3	28	342	1,74	
	PE3.4	56	293	1,49	
	PE3.5	84	223	1,14	
	PE3.6	112	146	0,75	
E4 Ladrilho L2: - E=5 % Cimento-cola: - Classe C2S	PE4.0	0	750	3,82	Coesiva 
	PE4.1	1	749	3,82	
	PE4.2	14	743	3,78	
	PE4.3	28	624	3,18	
	PE4.4	56	540	2,75	
	PE4.5	84	468	2,38	
	PE4.6	112	384	1,95	

O tipo de rotura observado é fortemente influenciado pelo tipo de ladrilho cerâmico utilizado. Assim, a rotura verificada nos ensaios E0, sobre ladrilhos com um baixo coeficiente de absorção (0,02%), foi do tipo adesiva. Consequentemente, os valores obtidos representam a tensão de aderência do cimento-cola. Contudo, nos restantes ensaios (E1, E2, E3 e E4), onde se utilizaram ladrilhos cerâmicos com um coeficiente de absorção superior ( $> 0,5\%$ ), observou-se a rotura do tipo coesiva e assim, os resultados obtidos representam o limite inferior da tensão de aderência do produto ou material onde se tenha registado tal rotura.

Os valores da tensão de aderência expostos na tabela anterior estão representados, graficamente, nas figuras seguintes (Figura 4.37, Figura 4.38, Figura 4.39, Figura 4.40 e Figura 4.41)

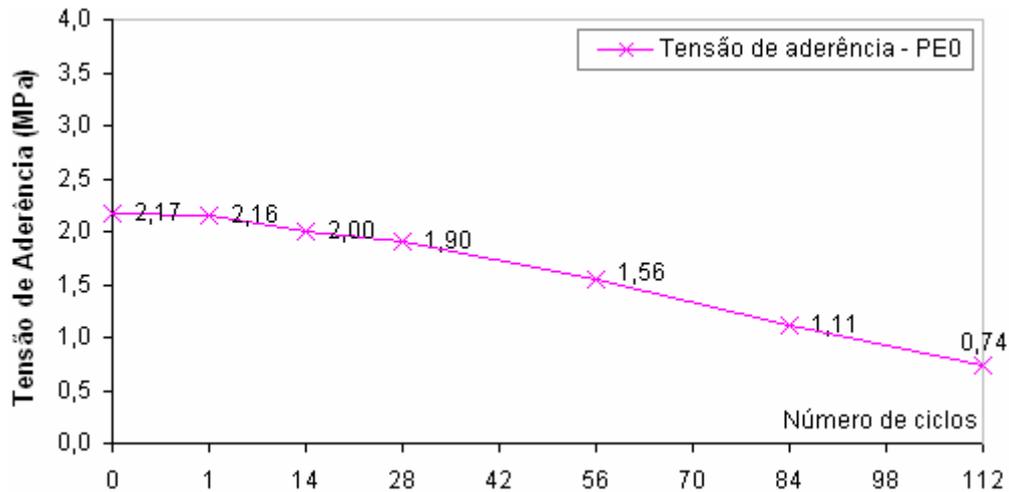


Figura 4.37: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E0: Cimento-cola C2 e Ladrilho cerâmico L0

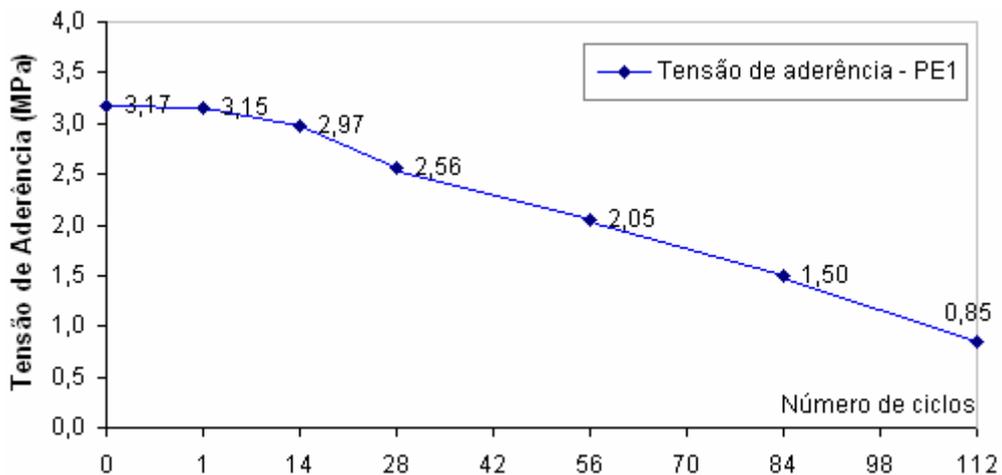


Figura 4.38: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E1: Cimento-cola C2 e Ladrilho cerâmico L1

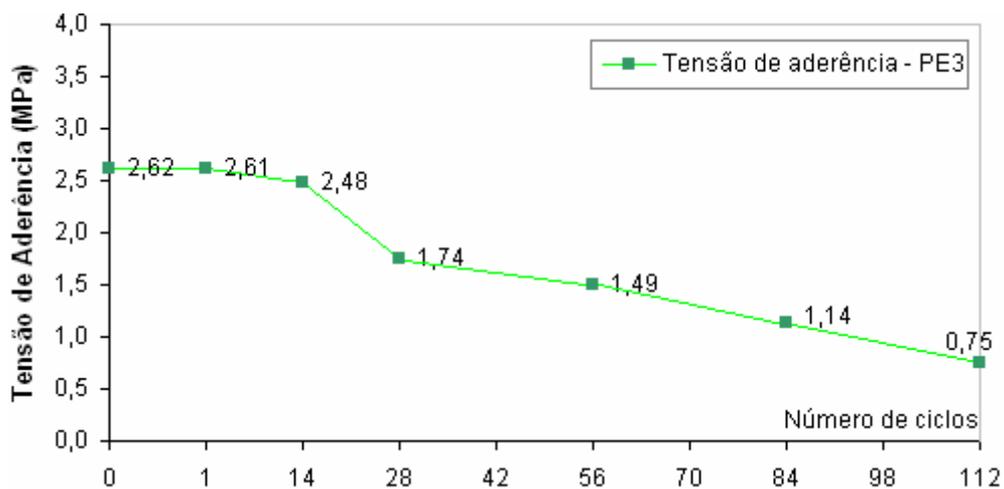


Figura 4.39: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E3: Cimento-cola C2 e Ladrilho cerâmico L2.

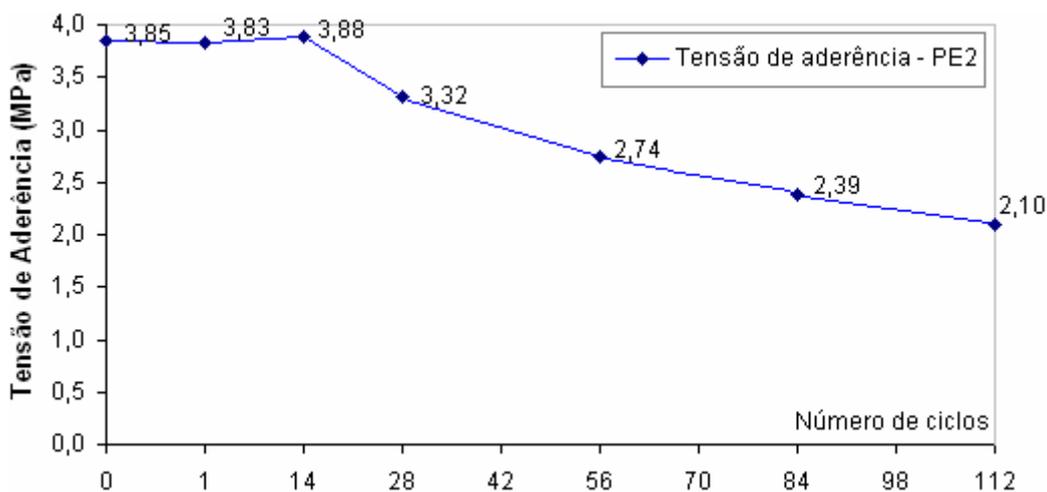


Figura 4.40: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E2: Cimento-cola C2S e Ladrilho cerâmico L1

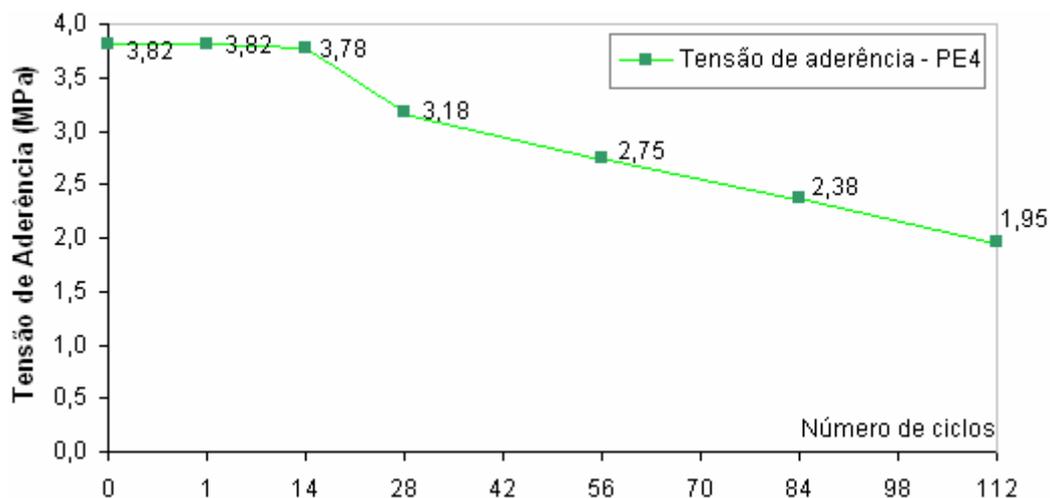


Figura 4.41: Evolução da tensão de aderência com os ciclos de envelhecimento – Ensaio E4: Cimento-cola classe C2S e Ladrilho cerâmico L2

Pela observação dos dois últimos gráficos, relativos aos ensaios E2 e E4 onde se utilizaram cimentos-cola da classe C2S, podemos constatar a proximidade dos valores obtidos para 0 e 1 ciclos de envelhecimento artificial com os valores alcançados após 14 ciclos. Tal facto pode ser justificado pelo tipo de rotura registado em cada caso. O tipo de rotura observado nos provetes PE2.0 e PE4.0 foi do tipo coesiva no seio do suporte e, nos restantes casos, foi do tipo coesiva no seio do cimento-cola. O resultado que se obtém, quando se dá a rotura coesiva, representa o limite inferior da tensão de aderência do produto ou material onde se registou a rotura, portanto, os ensaios realizados sobre os provetes PE2.0 e PE4.0 informam-nos sobre o limite inferior da tensão de aderência da placa de betão que constitui o suporte, enquanto que, nos restantes ensaios, os valores obtidos representam o limite inferior da tensão de aderência dos cimentos-cola. Assim, pelo tipo de rotura observado no momento 0 nos ensaios E2 e E4, apenas podemos aferir que o valor da tensão de aderência do cimento--cola seria superior ao registado para o suporte, mas desconhecemos qual o seu valor.

Após 112 ciclos de envelhecimento artificial medimos valores de, aproximadamente, 70% e 50% inferiores relativamente aos valores iniciais da tensão de aderência dos cimentos-cola das classes C2 e C2S, respectivamente.

A observação dos resultados obtidos, quer pela observação dos valores apresentados nas tabelas (Tabelas 4.10 e 4.11) quer pela observação das representações gráficas apresentadas, permite-nos concluir que, muito embora o número de ciclos de envelhecimento não tenha sido o suficiente para provocar a degradação total do sistema de revestimento, houve um decréscimo claro do valor da tensão de aderência ao longo do tempo.

### **4.3.3 Previsão do termo de vida útil dos cimentos-cola**

A partir dos valores da Tensão de Aderência obtidos determinou-se a linha de tendência que melhor se lhes ajustava. Considerou-se, para o valor da Tensão de 0,3 MPa, o termo de vida útil do sistema de revestimento cerâmico aderente, por se entender que a partir deste valor o sistema já não é capaz de realizar, nas condições mínimas de segurança, as funções a que se destina. Pela intersecção da linha de tendência com a linha, paralela ao eixo das abcissas, representativa do valor da tensão de aderência igual a 0,3 MPa, obtém-se uma previsão do número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado

necessário para atingir o termo de vida útil do cimento-cola, ou seja, de todo o sistema de revestimento aderente.

Agruparam-se em dois gráficos distintos os valores relativos a cada uma das classes de cimentos-cola ensaiada. O gráfico da Figura 4.42 e o gráfico da Figura 4.43 referem-se aos conjuntos de ensaios com cimentos-cola da classe C2 e C2S, respectivamente.

O gráfico da Figura 4.42 mostra a variação da Tensão de Aderência em função do número de ciclos de envelhecimento a que os provetes PE0, PE1 e PE3 estiveram sujeitos. A observação deste gráfico permite-nos prever que, independentemente do tipo de ladrilho cerâmico utilizado, no conjunto de ensaios realizado sobre os provetes com cimentos-cola da classe C2 (E0, E1 e E3), o termo de vida útil do produto será de cerca de 140 ciclos.

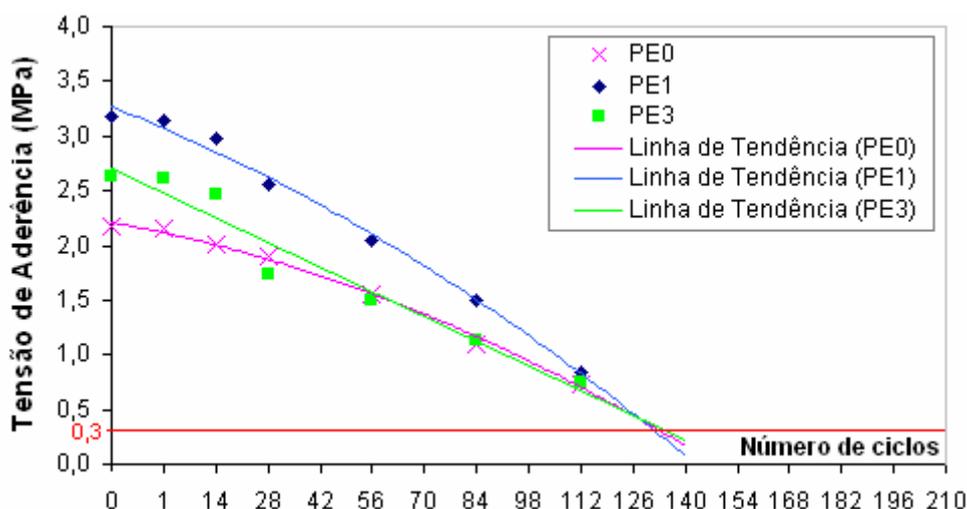


Figura 4.42: Previsão do termo de vida útil do cimento-cola C2 – Ensaios E0, E1 e E3.

O gráfico da Figura 4.43 mostra a variação da Tensão de Aderência em função do número de ciclos de envelhecimento a que os provetes PE2 e PE4 estiveram sujeitos. A observação deste gráfico permite-nos prever que, independentemente do tipo de ladrilho cerâmico utilizado, no conjunto de ensaios realizado sobre os provetes com cimentos-cola da classe C2S (E2 e E4), o termo de vida útil do produto será de aproximadamente 210 ciclos.

Portanto, tal como seria de esperar, é necessário um maior número de ciclos de envelhecimento para atingir o termo de vida útil dos cimentos-cola da classe C2S, relativamente ao número de ciclos necessários para os cimentos-cola de classe inferior, classe C2.

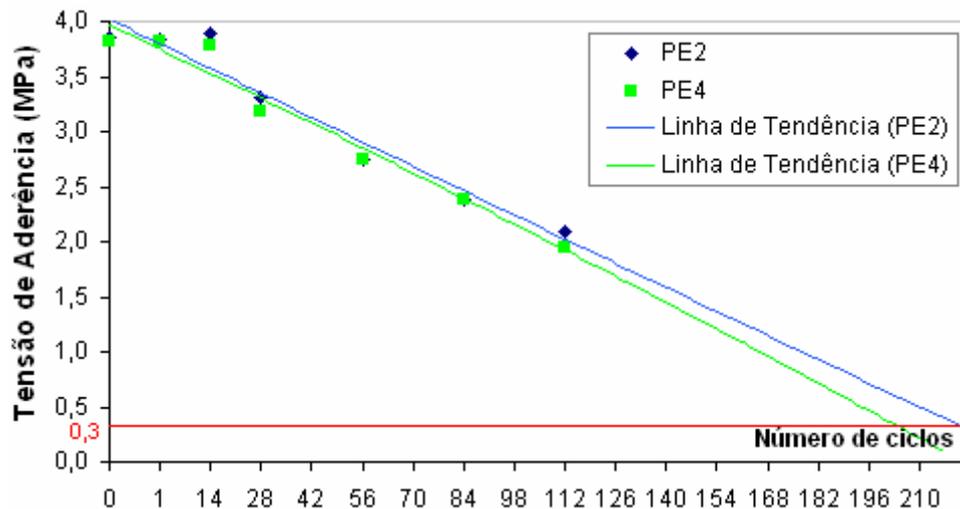


Figura 4.43: Previsão do termo de vida útil do cimento-cola C2S – Ensaios E2 e E4.

#### 4.4 APRECIÇÃO FINAL DOS RESULTADOS

As principais conclusões, relativas ao estudo experimental realizado, são as seguintes:

- Os resultados obtidos mostram um importante decréscimo da tensão de aderência.
- Após 112 ciclos de envelhecimento artificial medimos valores de, aproximadamente, 70% e 50% inferiores relativamente aos valores iniciais da tensão de aderência dos cimentos-cola das classes C2 e C2S, respectivamente.
- Os diferentes tipos de rotura observados são fortemente influenciados pelo tipo de ladrilho cerâmico utilizado.
- Para o valor crítico da Tensão de Aderência estabelecido, de 0,3 MPa, o termo da vida útil dos cimentos-cola das classes C2 e C2S está previsto para um número de aproximadamente 140 e 210 ciclos de envelhecimento, respectivamente.

A durabilidade dos cimentos-cola foi avaliada em função do decréscimo da tensão de aderência ao longo de vários ciclos de envelhecimento. Os resultados obtidos até agora constituem uma base de dados essencial e representam uma ferramenta muito útil no estabelecimento de um método para a previsão da vida útil dos cimentos-cola.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 ESTUDO *IN SITU* – ENVELHECIMENTO NATURAL**

#### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O estudo laboratorial desenvolvido até agora permitiu obter uma previsão do número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado necessário para chegar ao valor crítico definido como indicador do termo de vida útil física dos vários sistemas de revestimento cerâmico aderente analisados.

Para concluir a fase de *Teste*, iniciada no Capítulo 4 com o desenvolvimento de ensaios laboratoriais de curta duração, são necessários ensaios *in situ* de longa duração cujos resultados sirvam para o estabelecimento de uma correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de envelhecimento.

Neste sentido, para chegar a um valor concreto relativo ao termo da durabilidade do sistema de revestimento cerâmico aderente, criou-se, juntamente com a empresa fabricante dos cimentos-cola utilizados nos provetes de ensaio, a Estação de Envelhecimento Natural a seguir descrita (§ 5.2.1).

## 5.2 FASE DE *TESTE*: ENSAIOS DE LONGA DURAÇÃO

### 5.2.1 A estação de envelhecimento natural

Em Junho de 2004 desenvolveu-se, em conjunto com a empresa fabricante de cimentos-cola, um modelo representativo de paredes de fachada onde se aplicaram sistemas de revestimento cerâmico aderentes com características semelhantes aos desenvolvidos para a realização dos provetes de ensaio de envelhecimento artificial acelerado. Construiu-se uma parede em betão com cerca de 20 cm de espessura, 2 m de altura e com a geometria definida na Figura 5.1.

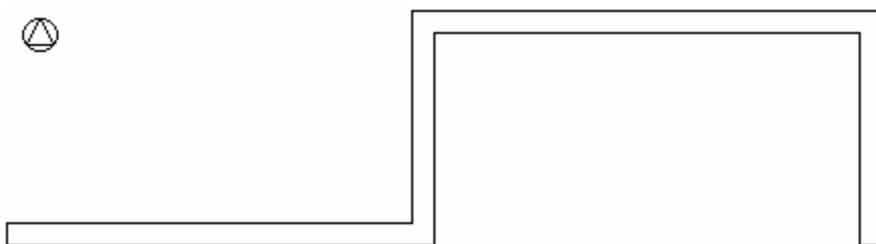


Figura 5.1: Geometria do suporte em betão do sistema de revestimento aderente

Com configuração criada conseguimos duas parcelas do suporte para cada uma das quatro orientações solares principais: Norte, Sul, Este e Oeste. Os dois tipos de cimentos-cola ensaiados, C2 e C2S, foram aplicados sobre as parcelas definidas, correspondentes às quatro orientações solares previstas de acordo com o esquematizado na Figura 5.2.

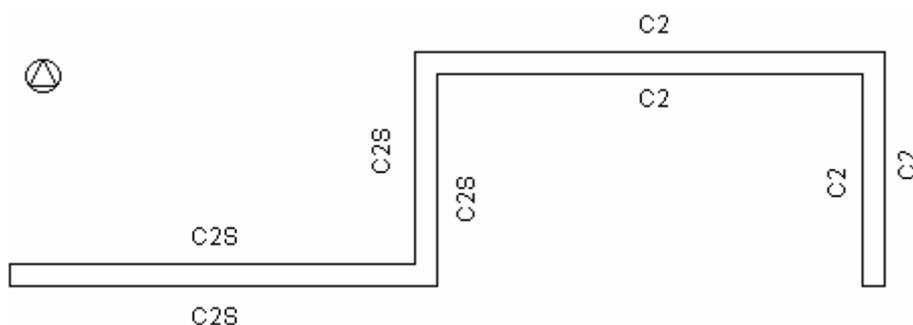


Figura 5.2: Tipo de cimento-cola aplicado em cada parcela do suporte

Em cada parcela do suporte, independentemente do cimento-cola utilizado, aplicaram-se quatro tipos de ladrilhos com diferentes coeficientes de absorção de água, E, e pertencentes a *Grupos*<sup>1</sup> distintos, de acordo com o esquematizado na Figura 5.3.

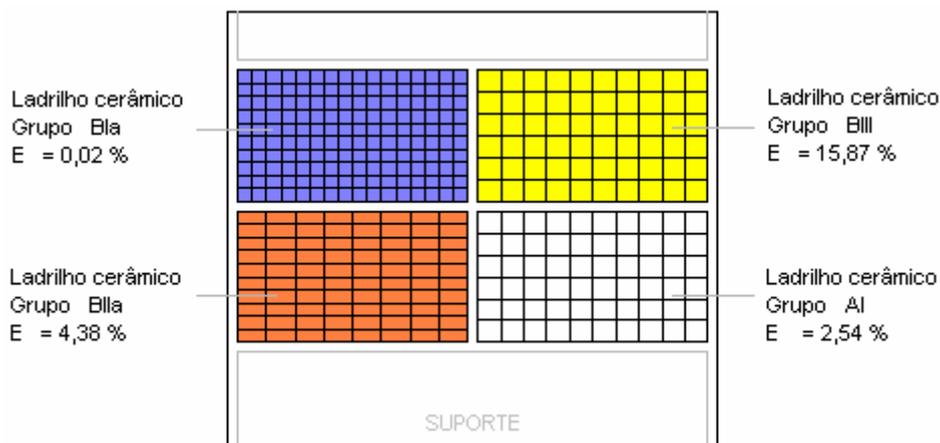


Figura 5.3: Representação esquemática da distribuição dos ladrilhos cerâmicos sobre o suporte da estação de envelhecimento natural

O sistema de revestimento cerâmico aderente ao suporte criado foi concebido de maneira a respeitar a normalização vigente e seguindo todas as recomendações de aplicação do fabricante para cada tipo de cimento-cola específico, tal como na preparação dos provetes para a realização dos ensaios laboratoriais de curta duração.

A semelhança dos sistemas de revestimento desenvolvidos para os ensaios *in situ* com os concebidos para os ensaios laboratoriais é fundamental no estabelecimento de uma correlação entre os resultados de ambos os ensaios. Correspondência essa, essencial para a definição do tempo real de vida útil do sistema estudado.

A Estação de Envelhecimento Natural está situada no Carregado, numa zona industrial a 30 km de Lisboa (Figura 5.4).

<sup>1</sup> *Grupos* de ladrilhos cerâmicos definidos na Norma Europeia EN 14411, *Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marketing*, 2003 [5.] (Capítulo 3 §3.2).



Figura 5.4: Estação de envelhecimento natural – Carregado

## 5.2.2 Ensaio na Estação de Envelhecimento Natural

### 5.2.2.1. Enquadramento

A degradação do sistema de revestimento cerâmico aderente só se atinge após vários anos de exposição natural. No entanto, mesmo sabendo que a Estação de Envelhecimento Natural tinha sido criada há apenas 6 meses, não se quis deixar de prosseguir o método de avaliação da durabilidade proposto neste estudo.

Com o intuito de demonstrar como estabelecer a correlação entre os resultados de longa e de curta duração realizaram-se, em Dezembro de 2004, ensaios de arrancamento por tracção sobre os sistemas de revestimento cerâmico aderentes empregues na Estação de Envelhecimento Natural.

### 5.2.2.2. Aparelhos e utensílios

O aparelho de medição disponibilizado para a realização dos ensaios *in situ* foi um aparelho electrónico semelhante ao utilizado nos ensaios laboratoriais, mas, com uma capacidade máxima de apenas 500 daN ( $\approx 2,5$  MPa). Com este aparelho efectuaram-se 8 medições sobre cada um dos 8 sistemas de revestimento existentes, tendo-se obtido em quase todas elas resultados superiores aos da capacidade do aparelho de medição utilizado.

### 5.2.2.3. Procedimentos de ensaio

Seguiram-se os procedimentos adoptados nos ensaios laboratoriais. Assim, considerou-se a força de rotura,  $F_{média}$  em daN, a média das 8 medições efectuadas e calculou-se a tensão de aderência,  $\sigma_a$  em MPa, de acordo com a equação seguinte (também definida no parágrafo 4.2.5.3):

$$\sigma_a = \frac{F_{média}}{S} \quad (5.1)$$

Onde:

S – Representa a área da pastilha metálica cilíndrica utilizada no aparelho de arrancamento por tracção,  $S = 1963,5 \text{ mm}^2$ .

### 5.2.2.4. Registos

Na Tabela 5.1 apresentam-se os resultados da força média de rotura,  $F_{média}$ , em daN, medida nos ensaios de arrancamento por tracção realizados na Estação de Envelhecimento Natural, e a tensão de aderência respectiva,  $\sigma_a$ , em MPa, estabelecendo-se a correspondência possível com os registos dos ensaios de envelhecimento artificial acelerado obtidos em laboratório.

Tabela 5.1: Registo da Força média de Rotura e da Tensão de Aderência

Ensaio na Estação de Envelhecimento Natural				Ensaio de Envelhecimento Artificial Correspondente			
Sistema de Revestimento	Tempo de Ensaio	$F_{média}$ [daN]	$\sigma_a$ [MPa]	Sistema de Revestimento	Número de Ciclos	$F_{média}$ [daN]	$\sigma_a$ [MPa]
Ladrilho Cerâmico: - Grupo BIa - E = 0,02 % Cimento-cola: - Classe C2	6 Meses	450	2,25	E0	0	425	2,17
					1	433	2,16
					14	401	2,00
					28	377	1,90
					56	296	1,56
					84	233	1,11
					112	145	0,74
Ladrilho Cerâmico: - Grupo BIa - E = 0,02 % Cimento-cola: - Classe C2S	6 Meses	> 500	> 2,5	-	-	-	-
				-	-	-	-
Ladrilho Cerâmico: - Grupo AI - E = 2,54 % Cimento-cola: - Classe C2	6 Meses	> 500	> 2,5	E1	0	623	3,17
					1	618	3,15
					14	584	2,97
					28	503	2,56
					56	402	2,05
					84	294	1,50
					112	167	0,85
Ladrilho Cerâmico: - Grupo AI; - E = 2,54 % Cimento-cola: - Classe C2S	6 Meses	> 500	> 2,5	E2	0	755	3,85
					1	753	3,83
					14	762	3,88
					28	651	3,32
					56	538	2,74
					84	469	2,39
					112	412	2,10
Ladrilho Cerâmico: - Grupo BIIa - E = 4,38 % Cimento-cola: - Classe C2	6 Meses	> 500	> 2,5	E3	0	515	2,62
					1	512	2,61
					14	486	2,48
					28	342	1,74
					56	293	1,49
					84	223	1,14
					112	146	0,75

Tabela 5.1: Registo da Força média de Rotura e da Tensão de Aderência

<i>Ensaio na Estação de Envelhecimento Natural</i>				<i>Ensaio de Envelhecimento Artificial Correspondente</i>			
<i>Sistema de Revestimento</i>	<i>Tempo de Ensaio</i>	<i>F<sub>média</sub> [daN]</i>	<i>σ<sub>a</sub> [MPa]</i>	<i>Sistema de Revestimento</i>	<i>Número de Ciclos</i>	<i>F<sub>média</sub> [daN]</i>	<i>σ<sub>a</sub> [MPa]</i>
Ladrilho Cerâmico: - Grupo BIIa - E = 4,38 % Cimento-cola: - Classe C2S	6 Meses	> 500	> 2,5	E4	0	750	3,82
					1	749	3,82
					14	743	3,78
					28	624	3,18
					56	540	2,75
					84	468	2,38
					112	384	1,95
Ladrilho Cerâmico: - Grupo BIII e E = 15,87 % Cimento-cola: - Classe C2	6 Meses	> 500	> 2,5	-	-	-	-
Ladrilho Cerâmico: - Grupo BIII e E = 15,87 % Cimento-cola: - Classe C2S	6 Meses	> 500	> 2,5	-	-	-	-

#### 5.2.2.5. Comparação gráfica de resultados

Nas figuras seguintes demonstra-se, do ponto de vista gráfico, a correlação entre o número de ciclos obtidos nos ensaios de curta duração (§ 4.3) e o tempo real de envelhecimento nos ensaios de longa duração (6 meses de envelhecimento natural – entre Junho e Dezembro de 2004).

Os valores da tensão de aderência,  $\sigma_a$ , registados para o provete PE0 nos primeiros ciclos de envelhecimento artificial acelerado foram da ordem de grandeza do valor registado após 6 meses de exposição natural, aproximadamente 2,25 MPa. O que significa que não houve uma degradação significativa deste sistema de revestimento cerâmico durante o período de tempo de exposição natural analisado e, portanto, aos 6 meses de ensaio de longa duração corresponderá um número muito reduzido de ciclos de envelhecimento artificial acelerado como podemos aferir pela apreciação do gráfico da Figura 5.5.

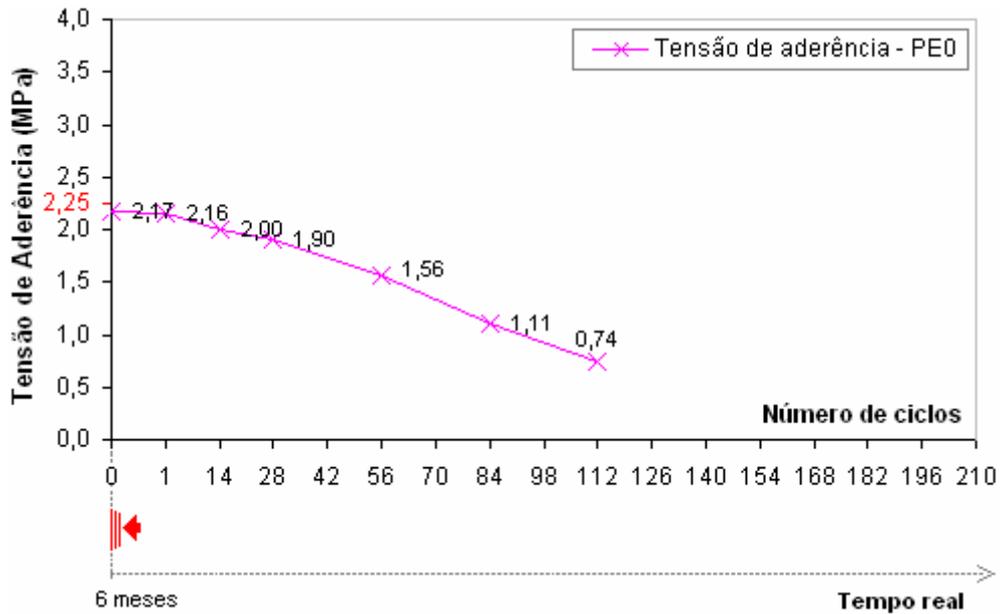


Figura 5.5: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE0

No gráfico da Figura 5.6 assinala-se, ao fim de aproximadamente 30 ciclos de envelhecimento artificial acelerado, um valor da tensão de aderência de 2,5 MPa, correspondente ao valor da tensão obtido após 6 meses de exposição natural.

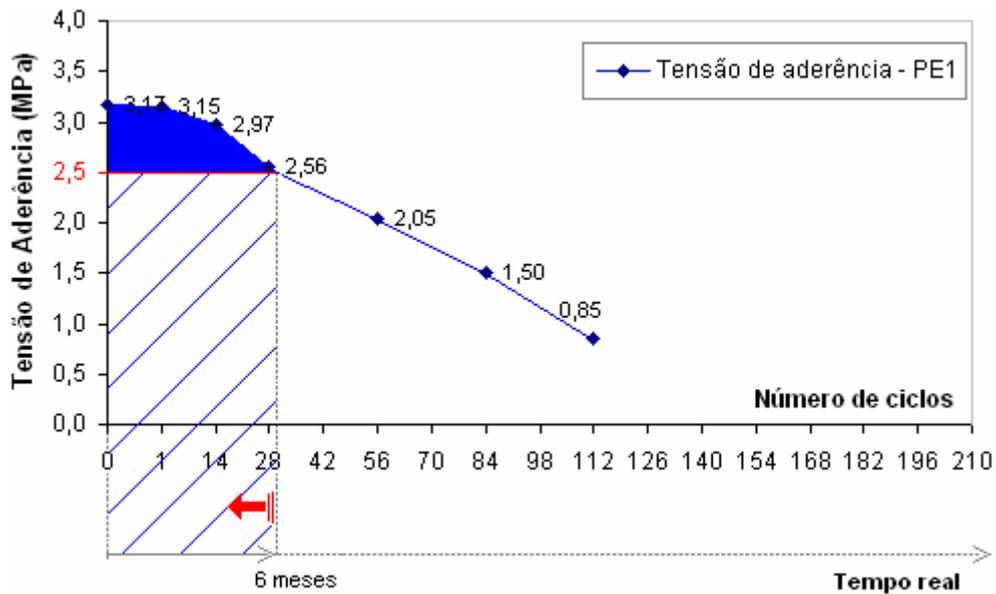


Figura 5.6: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE1

Sabendo que 2,5 MPa representam a capacidade máxima do aparelho de medição utilizado nos ensaios *in situ* apenas podemos concluir que aos 6 meses de envelhecimento natural corresponderão entre 0 e 30 ciclos de envelhecimento artificial acelerado.

Nos ensaios de envelhecimento artificial acelerado realizados sobre o provete PE3 (Figura 5.7) registaram-se valores da tensão de aderência de aproximadamente 2,5 MPa ao 14º ciclo. Logo, para o sistema de revestimento cerâmico considerado, aos 6 meses de ensaio de longa duração, corresponderão entre 0 e 14 ciclos de ensaio de curta duração.

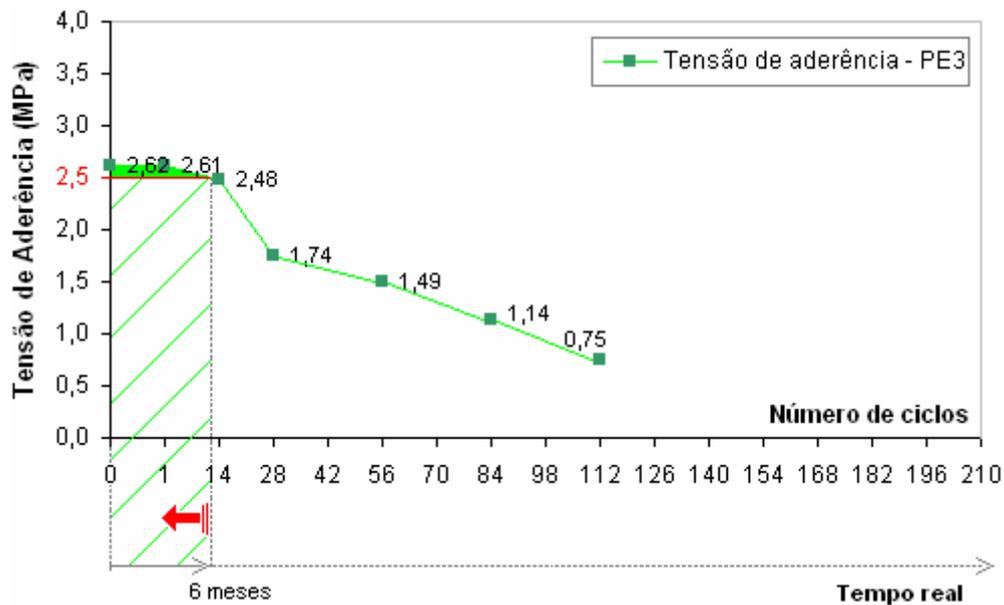


Figura 5.7: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE3

A observação dos gráficos das Figuras 5.8 e 5.9 permite estabelecer a correlação entre um número de, aproximadamente, 70 ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo de exposição natural de 6 meses. Assim, para os sistemas de revestimento cerâmico onde se utilizaram cimentos-cola da classe C2S, aos 6 meses de ensaio de longa duração corresponderão entre 0 e 70 ciclos de ensaio de curta duração.

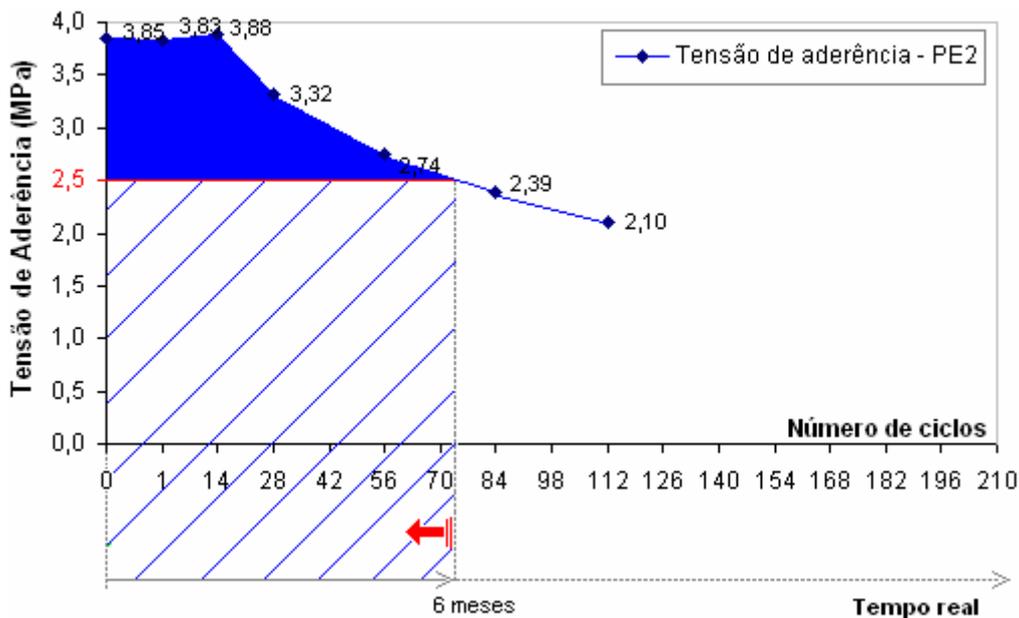


Figura 5.8: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE2

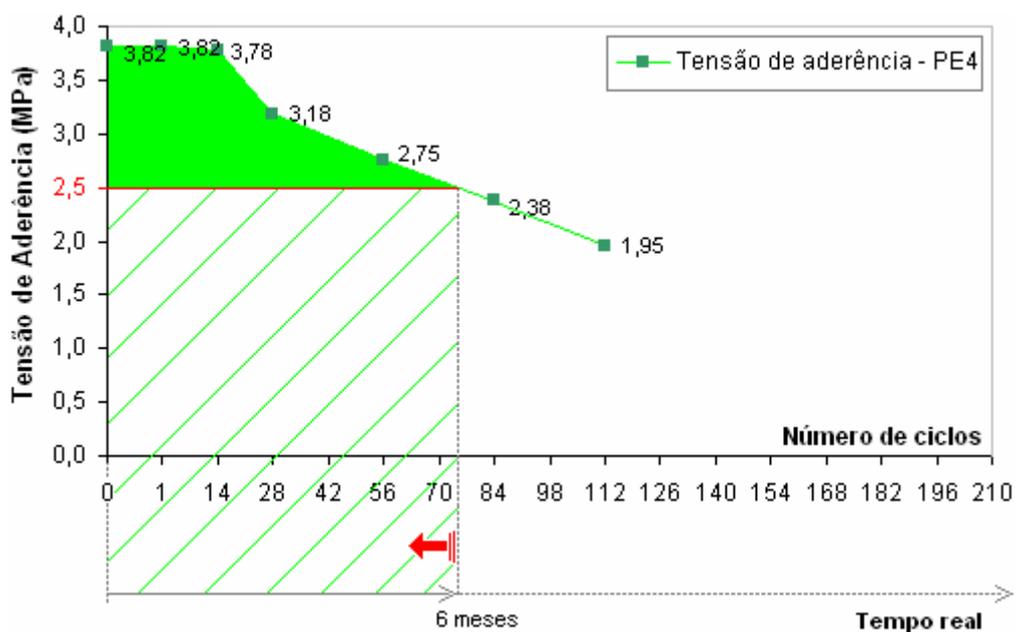


Figura 5.9: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – PE4

De modo a obter resultados mais conclusivos dos ensaios de longa duração – ensaios *in situ* de envelhecimento natural, e comparáveis com os ensaios de curta duração – ensaios laboratoriais de envelhecimento artificial acelerado, repetir-se-ão, no futuro, as medições *in situ* com o mesmo aparelho utilizado em laboratório.

### 5.3 SÍNTESE CRÍTICA DOS RESULTADOS

De acordo com o exemplificado no parágrafo 5.2.2.5 pode desenvolver-se uma correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial e o tempo real de envelhecimento natural (Figura 5.10).

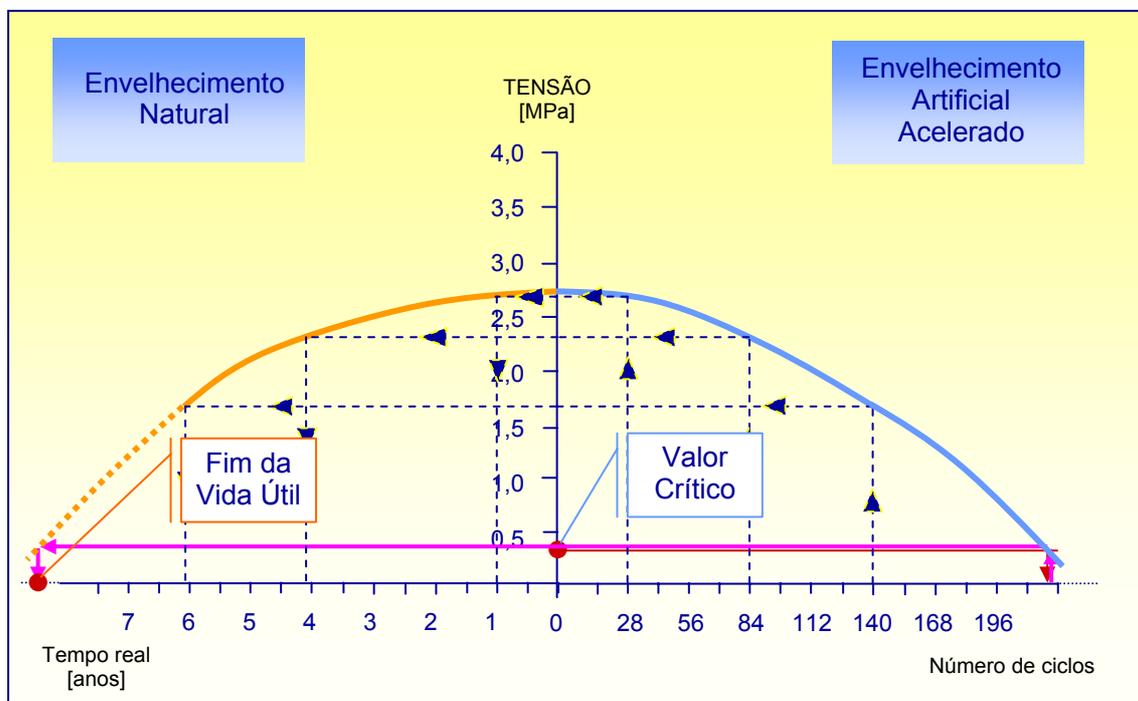


Figura 5.10: Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural – Modelo de Previsão

Torna-se imperativo realizar ensaios na estação de envelhecimento natural ao longo de períodos de tempo definidos (de 6 em 6 meses, por exemplo) de modo a conseguir estabelecer a relação entre os ensaios de curta duração e os ensaios de longa duração.

Com a realização dos dois tipos de ensaios, *in situ* e em laboratório, a fase de *Teste* do método de avaliação seguido (§ 2.3.2) fica completa, podendo estabelecer-se o modelo de previsão do tempo de vida útil deste tipo de produto



## CAPÍTULO 6

### 6 CONCLUSÕES

A durabilidade ou fim da vida útil, aparentemente de leitura unívoca por representar o termo do usufruto ou o fim da aplicação de determinado material, pode ter diferentes interpretações. Mesmo quando se considera apenas a vida útil física como critério determinante na avaliação da durabilidade, em detrimento de outros igualmente importantes como a aparência ou a funcionalidade, há inúmeras propriedades com diferentes níveis de exigência determinantes para a classificação desse único critério seleccionado. Assumiu-se, contudo, o carácter mensurável do conceito de Durabilidade, no que se refere à Tensão de Aderência.

A sua avaliação, ou medição, exigiu o conhecimento das características dos materiais e componentes do sistema de revestimento cerâmico aderente a fachadas que mais condicionam o desempenho do seu conjunto. Para compreender melhor quais as propriedades essenciais destes sistemas referiram-se, no Capítulo 3, as origens e a evolução dos sistemas de revestimento cerâmico aderentes a fachadas, definiu-se cada um dos componentes dele constituintes e identificaram-se as tecnologias para a sua correcta aplicação. Abordou-se ainda, nesse mesmo capítulo, a necessidade da classificação e marcação CE dos produtos da construção. Referindo-se qual o seu significado, quais os organismos responsáveis pela aplicação da CPD – *Construction Products Directive* e quais os sistemas de comprovação disponíveis para a marcação dos

produtos. A marcação CE é, como se justificou, uma ferramenta imprescindível na selecção do material que melhor se adequa à utilização pretendida, não nos traduzindo, no entanto, o desempenho desse material ao longo do tempo. Daí a necessidade de desenvolver um método objectivo capaz de avaliar o desempenho dos materiais e componentes da construção ao longo da sua vida útil.

Assim, com base na normalização vigente desenvolveu-se um método para a avaliação da durabilidade. Este método, descrito no parágrafo 2.3.2 do Capítulo 2, está assente numa metodologia sequencial com uma forte componente de índole experimental.

O método seguido exige a quantificação da Durabilidade no que se refere à Tensão de Aderência.

A fase de *Teste* é essencialmente composta por ensaios de curta duração – Ensaios de Envelhecimento Artificial Acelerado – Capítulo 4, e ensaios de longa duração – Ensaios de Envelhecimento Natural – Capítulo 5.

As principais conclusões, retiradas do estudo laboratorial realizado, do qual fazem parte integrante os ensaios de curta duração, foram as seguintes:

- Os resultados obtidos mostram um importante decréscimo da tensão de aderência.
- Após 112 ciclos de envelhecimento artificial medimos valores de, aproximadamente, 70% e 50% inferiores relativamente aos valores iniciais da tensão de aderência dos cimentos-cola das classes C2 e C2S, respectivamente.
- Os diferentes tipos de rotura observados são fortemente influenciados pelo tipo de ladrilho cerâmico utilizado.
- Para o valor crítico da Tensão de Aderência estabelecido, de 0,3 MPa, o termo da vida útil dos cimentos-cola das classes C2 e C2S está previsto para um número de aproximadamente 140 e 210 ciclos de envelhecimento, respectivamente.

O estudo *in situ* permitiu aferir que não terá havido, em 6 meses de ensaios de longa duração, uma degradação significativa do sistema de revestimento cerâmico aderente quando em condições de utilização próximas das observadas em fachadas correntes. Verificou-se, no entanto, a necessidade de repetir os ensaios realizados *in situ* ao longo

do tempo com um aparelho de medição da tensão de aderência de maior capacidade, semelhante ao utilizado em laboratório.

Os resultados obtidos na fase experimental desenvolvida nos Capítulos 4 e 5 constituem um importante registo e uma base de dados essencial no estabelecimento de um método para a previsão da vida útil dos cimentos-cola.

A durabilidade deste e de muitos outros produtos utilizados na construção é um parâmetro fundamental para a classificação e medida da qualidade dos mesmos. É essencial prosseguir o estudo desenvolvido até aqui e continuar a contribuir, ainda que em pequenas parcelas, para o desenvolvimento de métodos de avaliação da durabilidade dos produtos e materiais mais utilizados na construção e cuja degradação interfira, tão significativamente, na qualidade das edificações e na segurança dos seus utilizadores.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] CALADO, Rafael Salinas. 5 Séculos do Azulejo em Portugal. Edição dos Correios e Telecomunicações de Portugal.
- [2] CALADO, Rafael Salinas. Aspectos da utilização e conservação do azulejo – Actas das 1as Jornadas Luso-Brasileiras do Património. Lisboa, 1984.
- [3] LOUREIRO, José Carlos. O Azulejo, Possibilidade da Sua Reintegração na Arquitectura Portuguesa. Porto, 1962.
- [4] SIMÕES, J. M. dos Santos. Azulejaria em Portugal nos Sécs. XV e XVI. F.C.G.. Lisboa, 1965.
- [5] SIMÕES, J. M. dos Santos. Azulejaria Portuguesa no Séc. XVII. F.C.G.. Lisboa, 1969.
- [6] SIMÕES, J. M. dos Santos. Azulejaria Portuguesa no Séc. XVIII. F.C.G.. Lisboa, 1969.
- [7] VELEOSO, A. de Barros; ALMASQUE, Isabel. Azulejos de fachada em Lisboa – in Revista Municipal. 1983-1984-1985.
- [8] FREITAS, Vasco Peixoto de; SOUSA, Augusto Vaz Serra e; SILVA, J. A. Raimundo Mendes da. *Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos*. Coimbra, Março de 2003.
- [9] LUCAS, J. Carvalho; ABREU, M.. Patologia e Reabilitação das Construções. Edifícios. Revestimentos Cerâmicos Colados. Descolamento. Relatório 367/03 – N.C.M.C. Lisboa, LNEC. Novembro 2003.

- [10] LUCAS, J. Carvalho. Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Colados. ITMC -28, Lisboa, L.N.E.C. 2001.
- [11] ABREU, M. Descolamento e Fendilhação em Revestimentos Cerâmicos 3º Encore, L.N.E.C. Lisboa, Maio 2003, pp. 1081-1090.
- [12] LUCAS, J. Carvalho. Alguns Casos de Patologia em Azulejos. ITMC - 5, Lisboa, L.N.E.C. 1998.
- [13] FREITAS, Vasco Peixoto de; SOUSA, M. Patologia da Construção – um Catálogo. 2nh International Symposium on Building Pathology, Durability and Rehabilitation, L.E.N.C., Lisboa, Novembro 2003, pp. 401-408.
- [14] SILVESTRE, J.; BRITO, J.. Classificação de Anomalias em Sistemas de Revestimentos Cerâmicos Aderentes. In 2º Congresso Nacional da Construção, Porto Dezembro 2004, pp. 879-884.
- [15] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Buildings and constructed assets – Service Life Planning — Part 1: General principles. ISO 15686-1:2001. First edition, B.S.I., United Kingdom, September 2000.
- [16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Buildings and constructed assets – Service Life Planning — Part 2: Service life prediction procedures. ISO 15686-2:2001. First edition, B.S.I., United Kingdom, March 2001.
- [17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Buildings and constructed assets – Service Life Planning — Part 3: Performance audits and reviews. ISO 15686-3:2002. First edition, B.S.I., United Kingdom, August 2002.
- [18] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). Assumption of Working Life of Construction Products in Guideline for European Technical Approval, European Technical Approvals and Harmonized Standards – Guidance Document 002. EOTA, Bruxelas, December 1999.
- [19] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). Assessment of working life of products – Guidance Document 003. EOTA, Bruxelas, December 1999.
- [20] American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life Building Components and Materials – ASTM E 632. Maio 1982.
- [21] EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION (EMO). EMOdico – Technical dictionary – 3rd Edition. Dezembro 2001.
- [22] GASPAR, P. Manuel. Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Construção. Dezembro 2002.

- [23] CAMPANTE, E. F; SABBATINI, F. H; PASCHOAL, J. O. A.. *Factores Intervenientes na Durabilidade dos Revestimentos Cerâmicos de Fachada*. Encontro Nacional da Construção 2001. Por uma Construção Sustentável, IST, Lisboa, Dezembro, 2001.
- [24] Directiva Europeia 89/106/CE, publicada no JOC L 40/12 de 11/02/89 e modificada pela directiva 93/68/CE, publicada no JOC L 220 de 30/08/93. Transposta para a legislação portuguesa pelos DL 113/93 de 10 de Abril, Portaria nº 565/93, de 2 de Junho e DL 139/95 de 14 de Junho.
- [25] LUCAS, J. A. Carvalho. *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. ICT, Informação Técnica de Edifícios – ITE 25. LNEC, Lisboa 1990.
- [26] LUCAS, J. A. Carvalho. *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou betão*. ICT, Informação Técnica Edifícios – ITE 24. Lisboa, LNEC, 1990.
- [27] LUCAS; J. A. Carvalho. *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes – Capítulo IV – Revestimentos Cerâmicos*. Lisboa, LNEC, 1996.
- [28] PAIVA, J. Vasconcelos; VEIGA, M.<sup>a</sup> Rosário. *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes – Capítulo I – Aspectos Gerais*. Lisboa, LNEC, 1996.
- [29] ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. Julho 2004.
- [30] VEIGA, M.<sup>a</sup> Rosário; *Revestimentos de Paredes: Funções e Exigências*, in *Arquitectura e Vida* nº 12, Lisboa Janeiro 2001, pp 74-80.
- [31] MENDES, J. Casimiro; GUERREIRO, M. Rita; SANTOS, C. A. Pina dos; PAIVA, J. A. Vasconcelos de. *Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-dia*. INMG/LNEC, - Lisboa, 1989.
- [32] Saint-gobain glass. *Manual do vidro*. Edição 2000.
- [33] RSA – *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*. Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio. Imprensa Nacional – Casa da Moeda, Lisboa, 1984.
- [34] APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica. *Manual de Alvenaria de Tijolo*. Coimbra, 2000.
- [35] CSOPT – Subcomissão para a previsão do RGEU. Título VII – *Durabilidade e Manutenção*. Versão final Junho de 2004.
- [36] MOSER, Konrad. *Towards the Partial Evaluation of Service Life – Illustrative Application of the Probabilistic Approach* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp.1319-1329.
- [37] RAMON, H. Ramos; ALARCON, O.; SILVA, D. Antunes; ROMEN, L. M. Finger; SEGAVE, A. Mate. *Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critérios de desempenho de materiais e componentes da Construção* –

Coletânea Habitare – vol. 3 – Normalização e Certificação na Construção Habitacional.

- [38] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking* EN 14411:2003 (ISO 13006:1998, modified):2003. Bruxelles, 2003.
- [39] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *Ceramic Tiles. Definitions, Classification and Marhing*. ISO 13006, Genève, 1998.
- [40] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-1 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 1: *Amostragem e bases para aceitação*, 1997.
- [41] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-2 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 2: *Determinação de dimensões e qualidade de superfície*, 1997
- [42] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-3 – Ladrilhos cerâmicos – Parte3 *Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade real*, 1997
- [43] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-4 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 4: *Determinação do módulo de rotura e resistência de rotura*, 1997
- [44] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-5 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 5: *Determinação da resistência ao impacto, medida pelo coeficiente de restituição*, 1997
- [45] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-6 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 6: *Determinação da resistência à abrasão profunda de ladrilhos não vidrados*, 1997
- [46] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-7 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 7: *Determinação da resistência à abrasão superficial de ladrilhos vidrados*, 1997
- [47] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-8 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 8: *Determinação da dilatação térmica linear*, 1996.
- [48] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-9 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 9: *Determinação da resistência ao choque térmico*, 1996.
- [49] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-10 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 10: *Determinação da expansão por humidade*, 1997.

- [50] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-11 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 11: *Determinação da resistência à fendilhagem de ladrilhos vidrados*, 1996.
- [51] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-12 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 12: *Determinação da resistência ao gelo*, 1997.
- [52] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-13 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 13: *Determinação da resistência química*, 1997.
- [53] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-14 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 14: *Determinação da resistência às manchas*, 1997.
- [54] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-15 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 15: *Determinação da libertação de chumbo e cádmio de ladrilhos vidrados*, 1997.
- [55] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). EN ISO 10545-16 – Ladrilhos cerâmicos – Parte 16: *Determinação de pequenas diferenças de cor*, 2000.
- [56] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Adhesives for tiles. Definitions and specifications*. EN 12004:2001, March 2001.
- [57] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB) – *Guide technique UEAtc pour l'agrément des colles pour revêtements céramiques*, Cahier 2435 du CSTB. CSTB 1990.
- [58] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB) – *Classification des colles à carrelage – Définitions et Spécifications*, Cahier 3264 du CSTB. CSTB 2000.
- [59] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB) – *Revêtements de Murs Extérieurs en Carreaux Céramiques ou Analogues Collés au Moyen de Mortiers-Colles*. Cahier des Prescriptions Techniques d'Exécutions. Cahier 3266 du CSTB. CSTB 2000.
- [60] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB) – *Classement des Locaux en Fonction de l'Exposition à Humidité des Parois*. Cahier 3335 du CSTB. CSTB 2001.
- [61] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Adhesives for tiles – Determination of Open Time*. EN 1346:1996. Bruxelles, December 1996.
- [62] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Adhesives for tiles – Determination of Wetting Capability*. EN 1347:1996. Bruxelles, December 1996.

- [63] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives*. EN 1348:1997. Bruxelles, September 1997.
- [64] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Grouts for Tiles – Definitions and Specifications*. EN 13888:2002. Bruxelles, April 2002
- [65] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Adhesives for tiles – Determination of Transverse Deformation for Cementitious Adhesives*. EN 12002:2002. Bruxelles, March 1997.
- [66] FREITAS, Vasco Peixoto de. *Importância da Marcação CE na Seleção Exigencial de Cimentos-Cola – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção*, FEUP. Porto, Outubro 2004.
- [67] MOURA, Ilharco de. *Intervenção dos Organismos de Inspeção Técnica e Auditoria na Marcação CE – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção*, FEUP. Porto, Outubro 2004.
- [68] FREITAS, Anete. *O Estado Actual da Directiva 89/106/CEE – Os Produtos de Construção e a Marca CE – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção*, FEUP. Porto, Outubro 2004.
- [69] PAIVA, Vasconcelos de. *Aprovação Técnica Europeia: A Via para a Marcação CE dos Produtos de Construção Inovadores – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção*, FEUP. Porto, Outubro 2004.
- [70] COUTO, Carlos. *A Marcação CE de Agregados: Implicações na Produção das Misturas Betuminosas – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção*, FEUP. Porto, Outubro 2004.
- [71] MATOS, José de. *A Marcação CE e o Alargamento dos Mercados – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção*, FEUP. Porto, Outubro 2004.
- [72] RAMOS; Nuno M. M.; FREITAS, Vasco Peixoto de; *Comportamento Higroscópico de Materiais de Revestimento em Regime Variável – 2º Congresso Nacional da Construção*, Porto Dezembro 2004, pp. 511-516
- [73] JUST, A.; FRANCO, L.; *Descolamento de Revestimentos Cerâmicos de Fachada na Cidade do Recife*. Boletim Técnico nº 285 do Departamento de Engenharia de Construção Civil de Escola Politécnica da Univ. de São Paulo, Brasil, 2001.
- [74] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *Adhesives for tiles – EN 1323:199*. Bruxelles, September 1997.
- [75] WEBER. *O guia Weber 2004*. Portugal, 2004.

- [76] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. ISO 4892-2 – *Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 2: Xenon-arc sources*. Maio 1994.
- [77] DANSK STANDARD (DS). *Metode til at udsætte bygningskomponenter og byggematerialer for accelereret klimapåvirkning i vertical stilling* – DS 1127. Julho 1985.
- [78] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard Test Method for Accelerated Weathering test Conditions and Procedures for Bituminous Materials (Xenon-Arc Method)* – ASTM D 4798 – Outubro 1981.
- [79] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard Practice for Operating Light-exposure Apparatus (Xenon-Arc Type) With and Without Water for Exposure of Non-metallic Materials* – ASTM G 26. Janeiro 1996.
- [80] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard Method of Test for Laboratory Aging of Sandwich Constructions* – ASTM C481. Setembro 1962.
- [81] EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). *Exposure procedure for artificial weathering* – Technical Report TR 010. Março 2000.
- [82] ABREU, Miguel M. Mendes. *Modelação do comportamento de revestimentos cerâmicos* – Tese de Mestrado. Lisboa: IST, Novembro de 2001.
- [83] RAMON, H. Ramos; ALARCON, O.; SILVA, D. Antunes; ROMEN, L. M. Finger; SEGAVE, A. Mate. *Durabilidade de Resistência de aderência à tracção de sistemas de revestimento cerâmico* – Revista Cerâmica Informação, UFSC/LABMAT/EMC. Florianópolis, v. 13, 2000.
- [84] MAGGI, P.N.; REJNA, M.G.; DANIOOTTI, B.; CECCONI, F.; POLI, T.; RIGAMONTI, G.; JORNET, A.; TERUZZI, T. *Experimental program to evaluate building components service life: first results on brickwork*.
- [85] MARQUES, Maria Isabel Eusébio. *Durabilidade de tintas plásticas* – Informação Técnica Materiais de Construção – ITMC 2. Lisboa 1985.
- [86] GASPAR, P. Lima. *Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes* – Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Construções. Lisboa: IST, Dezembro 2002.
- [87] AIKIVUORI, A. M.. *Critical Loss of Performance – What Fails Before Durability* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp.1369-1376.
- [88] ANDERSON, T.; BRANDT, E. *The USE of Performance and Durability Detain Assessment of Life Time Serviceability*. IN 8<sup>th</sup> Int. Conference on

Durability of Building Materials and Components –Service Life and Asset Management, Vol I. Vancouver, 1999, pp. 1813 – 1820.

- [89] ANG, G. K. I.; WIATT, D. P. *Performance Concept in Procurement of Durability and Serviceability of Buildings* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp.1821 – 1832.
- [90] FROHNSDORFF, G. J. et all. *International Standards for Service Life Planning of Buildings* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp. 1537 – 1542.
- [91] ROBERTSON, E. *Design for Durability – A Pratical Approach.* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp.2107-2117
- [92] RUDBECK, C. *Assessing the Service Life of Buildings Envelope Construction.* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vancouver, 1999, pp.1051-1061.
- [93] DUFFY, F. *The New Office.* Conran Octopus, London, 1997, pp. 256.
- [94] HED, G. *Service Life Planning of Building Components.* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components, VOL I Vancouver, 1999, pp. 1543-1551.
- [95] LAIR, J. et all. *Durability Assessment of Building Systems,* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components. Vol. I, Vancouver, 1999, pp. 1299-1308
- [96] SJOSTROM, C. *Overview of Methodologies for Prediction of Service Life,* In Problems of Service Life Prediction of Building Materials and Components, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1985, pp. 3-20.
- [97] KUS, H.. *Service Life of External Renders.* In XXX IAHS World Congress on Housing, Vol. III , Coimbra, 2002, pp. 1875-1882.
- [98] MAGGI, P. N.. et all *Experimental Program to Evaluate Bulding Elements Service Life* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components, Vancouver, 1999, pp. 571-580.
- [99] VARIOS. *The English Edition of Principal Guide for Service Life Planning of Buildings,* Edição comentada, Architectural Institute of Japan, 1993, 98 p.
- [100] FREITAS, Vasco Peixoto de; et all. *Survey of the Durability of Facades of 4,000 Dwellings in Northern Portugal* – In 8<sup>th</sup> Int. Conference on Durability of Building Materials & Components, Vancouver, 1999, pp. 1040-1050.
- [101] MIRANDA, Vidália; VEIGA, M.<sup>a</sup> Rosário. *Influência de Alguns Parâmetros Sobre a Aderência de Rebocos Tradicionais* – In 2º Congresso Nacional da Construção, Porto Dezembro 2004, pp. 603 – 608.

- [102] ALMEIDA, I. R. VERÇOSA, D. K. SOUZA, R. *fachadas Prediais – Considerações Sobre o Projecto, os Materiais, a Execução, a utilização, a Manutenção e a Deterioração* - In 2º Congresso Nacional da Construção, Porto Dezembro 2004, pp. 785 – 790.
- [103] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC). *Revestimento de Paredes – Ensaio de Arrancamento por Tracção* – Ficha de Ensaio do LNEC: FE Pa 36. Lisboa, Abril de 1986.
- [104] BRITISH STANDARDS INSTITUTION – *Specification for Adhesives for use with ceramic tiles and mosaics* – BS 5980. London, 1980.
- [105] DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. *Stoffe fur keramische bekleidungen im dunnbettverfahren – begriffe und grundlagem* – DIN 18.156 (Teil 1). Berlim, 1977.
- [106] DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. *Stoffe fur keramische bekleidungen im dunnbettverfahren – hydraulish erhartend dunnbettmortel* – DIN 18.156 (Teil 2). Berlim, 1978.
- [107] DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. *Stoffe fur keramische bekleidungen im dunnbettverfahren – dispersinsklebstoffe* – DIN 18.156 (Teil 3). Berlim, 1980.
- [108] AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. American National standard specifications for dry set Portland cement mortar – AS 118-1:1999. New York, 1999a.
- [109] AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. American National standard specifications for latex-Portland cement mortar – AS 118-4:1999. New York, 1999b.
- [110] [www.eromortar.com](http://www.eromortar.com)
- [111] [www.eota.be](http://www.eota.be)
- [112] [www.europ.eu.int/comm/enterprise](http://www.europ.eu.int/comm/enterprise)
- [113] [www.cenorm.be/sectors/construction.html](http://www.cenorm.be/sectors/construction.html)
- [114] [www.construlink.com](http://www.construlink.com)
- [115] [www.econstroi.com](http://www.econstroi.com)
- [116] [www.apcmc.pt](http://www.apcmc.pt)
- [117] [www.abimci.com](http://www.abimci.com)
- [118] [www.weber.pt](http://www.weber.pt)
- [119] [www.cinca.pt](http://www.cinca.pt)
- [120] [www.instituto-camoes.pt](http://www.instituto-camoes.pt)

- [121] [www.pilotlist.org](http://www.pilotlist.org)
- [122] [www.fl.up.pt](http://www.fl.up.pt)
- [123] [www.portoeditora.pt](http://www.portoeditora.pt)
- [124] [www.saint-gobain.com](http://www.saint-gobain.com)
- [125] [www.ineti.pt](http://www.ineti.pt) Departamento de Energias Renováveis (DER) / Unidade de Energia Eólica e dos Oceanos (UEO)