

# OS REVESTIMENTOS E OS ACABAMENTOS DO CENTRO HISTÓRICO DE COIMBRA

UM CONTRIBUTO PARA O SEU ESTUDO

*Francisco P. S. C. Gil  
e Lídia Catarino (Coords.)*



## OS REVESTIMENTOS E OS ACABAMENTOS DO CENTRO HISTÓRICO DE COIMBRA

AUTORES

Francisco Paulo de Sá Campos Gil e Lídia Maria Gil Catarino (coordenadores)

António Manuel dos Santos Silva, Francisco Miguel Pereira Brardo Ferreira, Joana Catarina Redondo Abrantes, Jorge Luís Almeida Santos, José António Raimundo Mendes da Silva, José Manuel Aguiar Portela da Costa, Luís Carlos Gonçalves Namorado Freire, Martha Lins Tavares, Paulo Jorge Marques Peixoto, Paulo Torrão Fiadeiro, Pedro Francisco Mendes Pinheiro da Providência e Costa, Rosário da Silva Veiga, Tiago Manuel Soares Duarte

Projeto PTDC/AUR-URB/113635 - FCOMP-01-0124-FEDER-014163.

EDITOR

EDIÇÕES ALMEDINA, S.A.

Rua Fernandes Tomás, n.º 76, 78 e 79

3000-167 Coimbra

Tel.: 239 851 904 · Fax: 239 851 901

www.almедina.net · editora@almедina.net

DESIGN DE CAPA

FBA

PRÉ-IMPRESSÃO

João Félix – Artes Gráficas

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

G.C. – GRÁFICA DE COIMBRA, LDA.

Palheira Assafarge, 3001-153 Coimbra

producao@graficadecoimbra.pt

Outubro, 2017

DEPÓSITO LEGAL

....

Os dados e as opiniões inseridos na presente publicação são da exclusiva responsabilidade do(s) seu(s) autor(es).

Toda a reprodução desta obra, por fotocópia ou outro qualquer processo, sem prévia autorização escrita do Editor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infractor.



GRUPOALMEDINA

BIBLIOTECA NACIONAL DE PORTUGAL – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO  
OS REVESTIMENTOS E OS ACABAMENTOS DO CENTRO  
HISTÓRICO DE COIMBRA

Os revestimentos e os acabamentos do Centro Histórico  
de Coimbra: um contributo para o seu estudo/coord.

Francisco P. S. C. Gil, Lídia Catarino. – (CES)

ISBN 978-972-40-7105-3

I - GIL, Francisco Campos

II - CATARINO, Lídia, 1963-

CDU 72

## ÍNDICE

PREÂMBULO. O PROJECTO	9
1. Objectivos do Projecto	9
2. Breve descrição das actividades desenvolvidas durante a execução do projecto	11
CAPÍTULO 1. PRECEDENTES, PARCERIAS E RELEVÂNCIA PÚBLICA	15
1.1. A teia da cidade e da reabilitação urbana	15
1.2. Reabilitação do edificado versus sustentabilidade	16
1.3. Antecedentes do projecto – abordagem geral	19
1.4. Entidades e projectos públicos envolvidos	21
1.5. Referências	23
CAPÍTULO 2. DINÂMICAS SOCIAIS E POLÍTICAS DA COR NO CENTRO HISTÓRICO DE COIMBRA	25
2.1. Introdução	25
2.2. Contextualização breve de processos cromáticos urbanos	26
2.3. De que cor é o <i>branco</i> no Centro Histórico de Coimbra	31
2.4. A propagação recente da cor na zona histórica de Coimbra	37
2.5. Considerações finais	45
2.6. Referências	45
CAPÍTULO 3. ESTUDO LABORATORIAL DOS REVESTIMENTOS DO CENTRO HISTÓRICO DE COIMBRA	49
3.1. Análise colorimétrica	49
3.2. Localização dos edifícios e recolha das amostras	54
3.3. Análise de materiais	63
3.3.1. Agregados	64
3.3.2. Ligante	69
3.4. Conclusão	70
3.5. Referências	72

<b>CAPÍTULO 4. ESTUDO COLORIMÉTRICO DOS REVESTIMENTOS</b>	
<b>DO CHC</b>	75
4.1. Técnicas experimentais	75
4.2. Identificação dos pigmentos existentes no CHC	76
4.3. Análise de pigmentos comerciais	87
4.4. Conclusões	90
<b>CAPÍTULO 5. RECONSTRUÇÃO DA COR DO CHC</b>	93
5.1. Caso de estudo	95
5.2. Experimental	96
5.3. Resultados e Discussão	97
5.4. Substituição da cor	98
5.5. Compensação de efeitos atmosféricos	99
5.6. Substituição da textura	101
5.7. Conclusões	101
5.8. Referências	102
<b>CAPÍTULO 6. EXECUÇÃO DE PROTÓTIPOS DOS</b>	
<b>REVESTIMENTOS DO CHC</b>	107
6.1. Materiais utilizados	109
6.1.1. Agregados	110
6.1.2. Ligante	111
6.1.3. Pigmentos	114
6.2. Realização dos provetes	115
6.3. Caracterização climatológica da cidade	117
6.4. Adaptação das condições climáticas à câmara de envelhecimento	121
6.5. Resultados	128
6.6. Comentários finais	135
6.7. Referências	136
<b>EPÍLOGO</b>	139
<b>LISTA DE TABELAS</b>	143
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	144
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b>	147

## CAPÍTULO 6 EXECUÇÃO DE PROTÓTIPOS DOS REVESTIMENTOS DO CHC

L. CATARINO<sup>1</sup>, T. DUARTE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CGeo, Departamento de Ciências da Terra, UC, <sup>2</sup> CES-UC

A indústria da construção civil tem vindo nos últimos anos a apresentar quebras sucessivas ao nível do número de obras construídas. Numa análise global de 1995 a 2014 é notória a diminuição do número de edifícios licenciados (Gráfico 6.1a). O sector da reconstrução para habitação familiar relativamente às novas construções licenciadas representa ainda uma reduzida fracção do sector da construção civil mas tem vindo a adquirir proporções crescentes quando comparado com o sector da construção de habitações novas (Gráfico 6.1b).

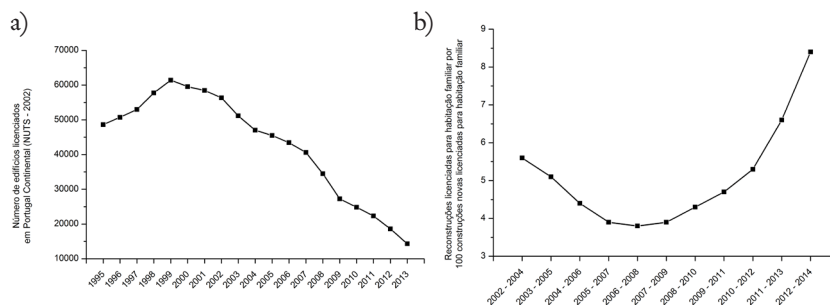


GRÁFICO 6.1 – Evolução do número de edifícios licenciados em Portugal Continental (NUTS – 2002) entre 1995 e 2013 (a) e número de reconstruções licenciadas para habitação familiar por 100 construções novas licenciadas para habitação familiar entre 2002 e 2014 (b) (INE, 2014)

Quando analisadas as estatísticas de 2008 e 2013 (Gráfico 6.2) observa-se que o sector da reabilitação mantém um crescimento lento mas positivo, representando 29,1% do total de obras concluídas em 2013. Apesar disso

o número total de edifícios intervencionados apresenta um ligeiro decréscimo, isto é, tem maior peso relativo apesar de menor peso absoluto (INE, 2013). É de salientar que as obras de reabilitação destinadas a alteração, ampliação e reconstrução principalmente de edifícios de habitação familiar representam o valor de 35,1%, superior ao apresentado no conjunto de habitações familiares intervencionadas.

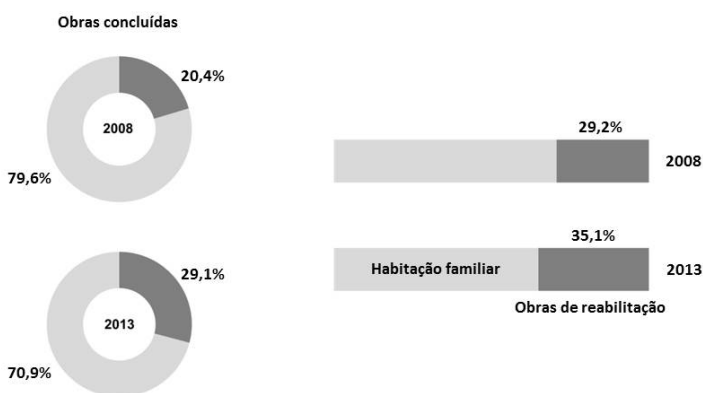


GRÁFICO 6.2 – Comparação do número de obras de reabilitação no total de obras concluídas, especificando a percentagem que se destina a habitação familiar em 2008 e 2013 (INE, 2013, pg 32).

Embora o investimento em reabilitação realizado em Portugal apresente ainda dos valores mais baixos da Europa, o sector da conservação do património e reabilitação urbana foi considerado pelo Bastonário da Ordem dos Engenheiros em 2011 no “V Encontro de Engenharia Civil Norte de Portugal – Galiza” um sector estratégico para o futuro das cidades (Ordem dos Engenheiros, 2011).

Dada a importância das obras de reabilitação e atendendo ao valor do património existente no Centro Histórico de Coimbra (CHC), foi decidida a execução de protótipos com materiais à partida compatíveis e similares com os revestimentos antigos. Para tal recorreu-se à informação recolhida no Capítulo 3.

### 6.1. Materiais utilizados

Numa primeira fase foram identificados os materiais necessários para a realização de revestimentos, coloridos ou brancos. Para a realização destes protótipos foi necessário um suporte para aplicar a argamassa, um agregado fino, um ligante e água. Como não dispúnhamos de uma estrutura em alvenaria onde fosse aplicada a argamassa e como se pretendia realizar ensaios de envelhecimento em câmara de envelhecimento foi decidido utilizar o tardo de um revestimento cerâmico com dimensões de 100×200 mm para funcionar como suporte e simular uma construção. Sobre o cerâmico aplicou-se uma argamassa grosseira do tipo emboço, seguida das argamassas a testar. Além destes provetes a serem ensaiados no equipamento de envelhecimento acelerado, e por isso de dimensões mais reduzidas, foram ainda realizados provetes idênticos mas com dimensão de 200×200 mm para serem expostos na posição horizontal e vertical mas sujeitos a condições atmosféricas normais, isto é, expostos ao clima da cidade de Coimbra numa zona aberta.

Embora fosse ponderada a utilização de água desmineralizada para a realização dos provetes de ensaio, fácil de utilizar em laboratório, tal solução foi desconsiderada, por não ser viável em obra. Além disso a água não deve ser muito pura para não promover a dissolução da cal utilizada provocando fissuras (Mascarenhas, 2002). Deste modo todos os provetes foram realizados com água da rede de distribuição pública de Coimbra.

Os materiais foram analisados relativamente à sua granulometria, composição química e composição mineralógica utilizando as seguintes técnicas:

- peneiração com agitador mecânico utilizando os crivos de aberturas 10; 4; 2; 1; 0,5; 0,250; 0,125 mm para a classificação das areias;
- analisador de partículas por difracção laser, para determinação da granulometria de partículas finas utilizando um equipamento de marca Beckman-Coulter mod. LS230 (0,04 a 2000  $\mu\text{m}$ ). Foi utilizada esta técnica para os pigmentos, a pasta de cal, o estuque de cal e o aditivo;
- difracção de raios X utilizando um difractómetro de pó Enraf Nonius, modelo INEL PSD120, com ampola de raios X de Cu para determinação das estruturas cristalinas e da composição mineralógica dos pigmentos.
- espectroscopia de fluorescência de raios X com o equipamento Hitachi EA6000VX High Sensitivity XRF Analyzer com alvo de tungsténio, para determinação da composição química média dos pigmentos.

### 6.1.1. Agregados

A areia encontrada nos revestimentos do CHC apresenta geralmente características de areia aluvionar. Embora seja sujeita a legislação específica, a exploração de materiais aluvionares para aplicação como agregados finos continua a corresponder a cerca de 25% da produção de agregados nacionais (Castelo Branco, 2009). Deste modo, e tendo sempre em atenção o problema ambiental que pode estar associado à exploração destes materiais, foi considerado que para situações de conservação e reabilitação do edificado era aceitável o uso de materiais aluvionares principalmente para as situações de agregado fino (0/2) utilizado em argamassas. Deste modo efectuamos a recolha de materiais em três zonas distintas nas duas margens do rio Mondego (Figura 6.1), sabendo que estes não serão os locais ideais para uma exploração, mas que nos permitiam avaliar as características do material disponível no leito do rio.

As areias recolhidas no rio apresentavam partículas argilosas, restos vegetais e animais, bem como matéria orgânica. Para eliminar grande parte destas impurezas consideradas prejudiciais para a boa qualidade da argamassa, as areias foram lavadas e secas em estufa antes de se proceder à classificação granulométrica (Figura 6.2).

Depois de retiradas as partículas de grandes dimensões foi realizada a distribuição granulométrica das amostras (Figura 6.3 e Gráfico 6.3). Numa prévia análise granulométrica e mineralógica das areias da zona 1 e 2 concluímos que eram semelhantes e bastante grosseiras ( $d_{50} \approx 2$  mm) sendo por isso utilizada para a realização das camadas de emboço.

A areia da zona 3 recolhida mais a montante apresentava uma granulometria geral inferior às anteriores (Gráfico 6.3) com  $d_{50} = 1,0$  mm. Por esse motivo foi seleccionada para ser utilizada nas camadas de reboco e barramento sendo crivada com um peneiro de malha quadrada de 1 mm e utilizada apenas a fracção inferior.

No entanto, num dos barramentos encontrados o agregado utilizado apresentava características muito hialinas, com granulometria homogénea e fina (0,125 a 0,5 mm), baixo rolamento e composição calcítica (ver Capítulo 3.2). Dado que não era viável encontrar partículas de agregado idênticas nos distribuidores de materiais de construção comuns, isto é calcite espática fragmentada, foi decidido utilizar areia quartzosa com origem eólica, pois a transparência e granulometria são similares e o rolamento que estas apresentam é menor que o registado nas areias de transporte fluvial. A zona



escolhida para a recolha desta amostra situa-se numa duna secundária junto ao litoral marítimo, numa faixa a norte da Figueira da Foz, nas proximidades da povoação de Mira, onde a exploração desta areia fina ainda era frequente nos finais de século xx. A areia de duna não apresentava impurezas significativas mas foi igualmente lavada, procedendo-se à sua classificação granulométrica (Gráfico 6.3) para controlo, registando 85% de material com dimensão entre 0,125 e 0,5 mm.

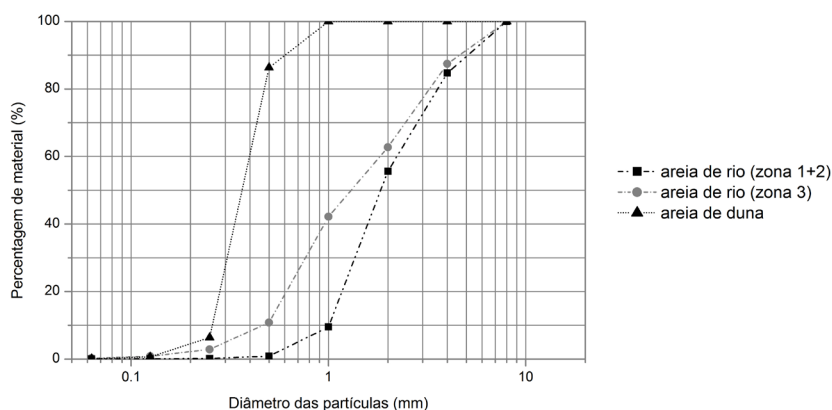


GRÁFICO 6.3 – Distribuição granulométrica das areias utilizadas.

### 6.1.2. Ligante

A cal utilizada na construção dos edifícios do CHC variava entre uma cal dolomítica (resultante da calcinação de calcários dolomíticos) mais escura ou uma cal branca, essencialmente calcítica (Veiga et al., 2008). Hoje em dia já não é fabricada cal com o calcário dolomítico de Coimbra, pelo que não é possível encontrar no mercado uma cal dolomítica igual à que foi outrora utilizada. Após uma pesquisa acerca de cal aérea optou-se por vários produtos com base em cal aérea em pasta, da marca FRADICAL Lda. que correspondem a um CL 90 da *NP EN 459-1:2011 Cal de construção Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. A cal aérea hidrófuga D. Fradique já foi testada em obras de reabilitação desde 1996 e proporciona um elevado grau de impermeabilidade à água no estado líquido, associada à permeabilidade ao vapor de água (Fradical, s.d.). É indicada para as camadas internas

de revestimentos exteriores de edifícios e foi utilizada para a realização do emboço aplicado directamente sobre o cerâmico utilizado como base e para os provetes “fingido de pedra”. Para as camadas exteriores de revestimento (barramentos branco, vermelho e azul) foi utilizada massa de estuque de cal (composta por cal aérea não hidrófuga em pasta, areia fina e *filler* de mármore, Fradical, s.d.). A massa especial de barramento (composta por cal aérea não hidrófuga em pasta e *filler* de mármore, Fradical, s.d.) foi utilizada para o barramento amarelo. A aplicação destes vários tipos de pastas aditivadas teve como objectivo verificar qual apresentava melhores resultados para as condições de estudo, independentemente da cor utilizada.

As vantagens da utilização da cal aérea nos rebocos estão relacionadas com a trabalhabilidade e plasticidade devido ao retardamento da presa, a permeabilidade ao vapor de água, dificultando a formação de condensações e eflorescências (Mascarenhas, 2002).

A cal aérea apresenta como inconveniente principal o longo tempo de carbonatação. A permeabilidade à água torna os rebocos menos duráveis e a retracção durante a secagem pode originar fissuras. Embora as argamassas comecem a reacção de carbonatação imediatamente após a sua aplicação, esta pode demorar até 240 dias em camadas com 1,5 cm de espessura, dependendo das condições de humidade relativa (Fradical, s.d.). O tempo de secagem é bastante importante pois nos dias de hoje não é fácil conjugar os prazos de obra impostos pelos concursos com o tempo de carbonatação dos materiais. A melhoria das propriedades das argamassas é geralmente conseguida por adição de outros materiais compatíveis e que também ajudam a melhorar a trabalhabilidade.

Para a utilização da pasta de cal da marca Fradical em argamassa das camadas internas é recomendada a utilização de um aditivo pozolânico (composto essencialmente por metacaulino) que lhes confere características de hidraulicidade resultantes da reacção pozolânica e possibilita uma secagem mais rápida (Fradical, s.d.).

Apesar de não ser usual a aplicação de aditivos deste tipo nos ligantes de cal aérea na época de construção das habitações e dos edifícios monumentais estudados foram analisadas as vantagens e as desvantagens conhecidas relativas à adição de materiais pozolânicos.

A análise de argamassas antigas, quer pertencentes às civilizações gregas assim como romanas apresentam uma durabilidade reconhecida que é geralmente atribuída à presença de pozolanas utilizadas como aditivo ou

para substituir parcialmente a cal aérea ou o agregado. Este conhecimento ficou, no entanto, esquecido durante muitos anos e só nos finais de século XVIII se voltou a identificar o mesmo uso na criação de ligantes hidráulicos com particular destaque para o cimento *portland* (Grilo et al., 2014).

As pozolanas utilizadas nesses tempos antigos eram cinzas vulcânicas ou pó de cerâmica resultante da moagem de artigos em barro vermelho que perderam a sua função. O metacaulino por seu lado é o material resultante da desidroxilação de uma argila rica em caulinite, isto é, que perdeu grupos OH quando sujeita a temperaturas entre 650 e 800°C. A adição de 20% de metacaulino melhora os resultados dos parâmetros mecânicos das argamassas (Vargas, 2013) e por outro lado induz a formação de fases compatíveis quimicamente com antigas argamassas (Gameiro et al., 2012). Assim, e por não ter sido considerado nenhum inconveniente, foi decidida a aplicação do aditivo pozolânico aconselhado para a cal aérea utilizada nas camadas de emboço.

Deste modo foi efectuada a caracterização do aditivo pozolânico em termos de composição e granulometria. Corresponde a um metacaulino cuja granulometria apresenta um valor máximo de 0,710 mm com uma granulometria média de 0,027 mm. Dado que este material corresponde a um caulino desidroxilado no difractograma de raios X apenas se evidencia a difracção

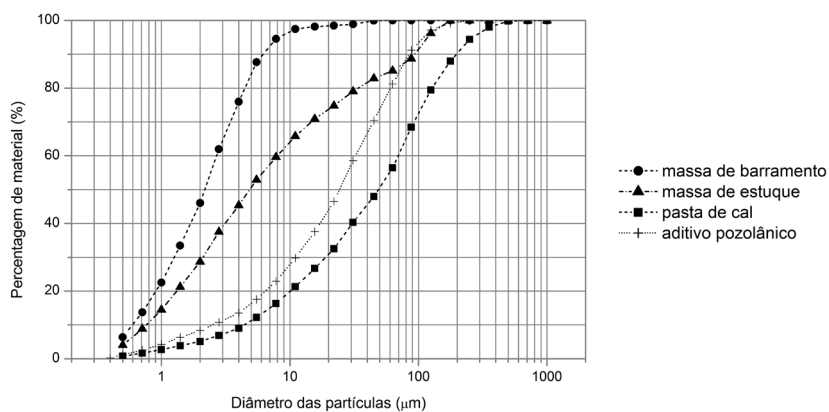


GRÁFICO 6.4 – Distribuição granulométrica das partículas existentes na cal em pasta, na massa de estuque de cal, na massa especial de barramento e do aditivo pozolânico.

do quartzo e uma ligeira protuberância na zona da difracção mais intensa da caulinite.

Para as camadas de revestimento foi utilizada uma massa de estuque de cal da mesma marca, que corresponde a uma cal aérea não hidrófuga previamente doseada com micro-areias e pó de mármore cuja análise revelou a dimensão máxima de 250  $\mu\text{m}$  (Gráfico 6.4).

É notório que as partículas presentes na pasta de cal são de maiores dimensões ( $<500 \mu\text{m}$ ,  $d_{50}=47 \mu\text{m}$ ) enquanto a massa de barramento apresenta as partículas mais finas ( $<45 \mu\text{m}$ ,  $d_{50}=3,2 \mu\text{m}$ ). A dimensão do aditivo pozolânico é inferior a 177  $\mu\text{m}$  com  $d_{50}=35 \mu\text{m}$ .

O espectro de fluorescência de raios X obtido da cal aérea evidencia a existência quase exclusiva de cálcio (Ca). Como a composição da cal é maioritariamente óxido e hidróxido de cálcio ( $\text{CaO}$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e), este resultado é consentâneo pois nesta técnica não é possível detectar oxigénio (O) nem do hidrogénio (H).

### 6.1.3. Pigmentos

De modo a reproduzir o mais fielmente possível as colorações utilizadas no CHC procurou-se a utilização de pigmentos comerciais comprados em lojas de materiais de construção. Como as cores mais representativas eram

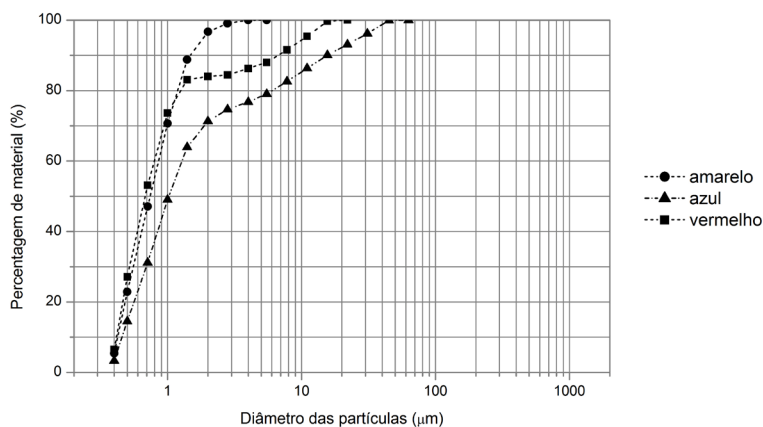


GRÁFICO 6.5 – Distribuição granulométrica cumulativa das partículas de pigmento utilizadas nos protótipos.

o rosa/vermelho e amarelo foram pigmentos destas cores os principais visados. Embora a cor azul não corresponda a uma das mais utilizadas foi também escolhida por existirem imagens da cidade onde esta cor é bastante evidente sendo assumido que em alguma época ela pode ter sido indicadora de um gosto específico. A cor branca presente em muitos edifícios corresponde à não adição de pigmento à cal aérea utilizada quer como ligante na argamassa, ou como simples caição.

A análise mineralógica e colorimétrica dos pigmentos foi já apresentada no Capítulo 5. Deste modo o pigmento de cor vermelha obteve correspondência com a hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), o de cor ocre amarelo com a goethite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e o azul com a lazurite ( $\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)_2$ ).

Outra característica importante dos pigmentos é a sua granulometria. A classificação granulométrica dos mesmos foi realizada por difracção laser verificando-se que as partículas são muito finas, isto é com d50 entre 0,9 e 1,4  $\mu\text{m}$  (Gráfico 6.5).

## 6.2. Realização dos provetes

Foram escolhidos para a realização dos provetes vários tipos de revestimentos: o Fingido de Pedra (FP) (pasta de cal e areia inferior a 4 mm); barramento branco (BB) (composto apenas por massa de estuque de cal) destinando-se alguns provetes a ser pintados de azul; o barramento vermelho (BVm) (composto por areia com dimensão inferior a 1 mm, massa de estuque de cal e pigmento); barramento amarelo (BAm) (massa especial de barramento e pigmento); barramento azul (BAz) (massa de estuque de cal, areia inferior a 0,5 mm e pigmento).

Para avaliar a quantidade de pigmento a introduzir na mistura de ligante com/sem agregado para obter a coloração pretendida foram realizadas amostras com várias percentagens de pigmento que originou uma paleta de cor (Figura 6.4). Foi considerada uma medida volumétrica inicial que se considerou 100% obtida por tentativa e erro até se atingir a cor pretendida e a partir desta fizeram-se proporções a variar de 25% a 200%.

É de salientar que no caso da cor amarela é necessária a adição de uma maior quantidade de pigmento para a obtenção de uma coloração significativa (cerca de 3 vezes superior à do pigmento vermelho ou azul) e que a adição de maior quantidade de pigmento nem sempre conduz a um incremento na cor da amostra. É disto exemplo o barramento vermelho em que o incremento na proporção de 150% para 200% de pigmento não produzem

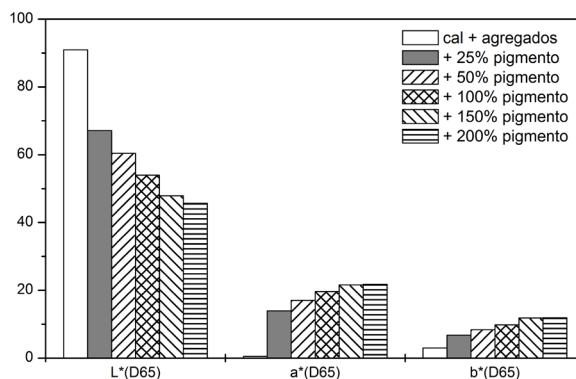


GRÁFICO 6.6 – Variação de  $L^*a^*b^*$  nas amostras de barramento vermelho função do incremento de pigmento.

efeito significativo nos valores de  $L^*a^*b^*(D65)$  indicando uma saturação em pigmento (Gráfico 6.6).

Os provetes com revestimento de barramentos foram realizados com duas camadas de argamassa. A camada interior mais grosseira (emboço) foi feita com um traço volumétrico de 1:3 em que se utilizou cal em pasta, areia de rio das zonas 1+2 e aditivo pozolânico (15% do volume de cal utilizado). Foi decidido que a camada de emboço seria constituída por uma espessura de aproximadamente 15 mm aplicada directamente sobre o tardez da peça cerâmica.

Os provetes cujo revestimento foi designado Fingido de Pedra (FP) são constituídos apenas por camada de emboço com uma espessura aproximada de 20 mm, pois tomando por base a descrição realizada no Capítulo 3 foi possível verificar que o revestimento era idêntico à camada interior de emboço, que a granulometria do agregado era grosseira e as partículas apresentavam rolamento, numa associação mineralógica semelhante à areia de rio.

O acabamento final dos provetes com revestimento branco e colorido por pintura foi realizado com uma camada de reboco com cerca de 5 mm de espessura. Os que se destinam a ser pintados ou a ficar com acabamento branco foram revestidos com uma camada de massa de estuque de cal para proporcionar um acabamento mais liso. A pintura azul-escuro foi realizada com pasta de cal e pigmento azul sobre a camada anterior.

De modo a aproximar o mais possível os provetes das amostras recolhidas, e para testar a execução e o comportamento de vários tipos de barramento, estes foram realizados com materiais diferentes. O barramento vermelho (BVm) foi realizado com massa de estuque de cal com areia de rio inferior a 1 mm com um traço de 1:1 e pigmento vermelho em pó; o barramento/pintura amarelo foi realizado com massa especial para barramento e pigmento amarelo sem adição de areia porque a massa utilizada já integra partículas finas de mármore; o barramento azul é uma mistura de massa de estuque de cal com areia de duna com traço 1:1 aditivado com pigmento azul. Foram ainda realizados provetes de barramento branco (BBr) efectuado com cal em pasta e areia e as pinturas azul (PAz) e vermelha (PVm) foram obtidas por adição do pigmento respectivo à pasta de cal sendo aplicadas sobre os provetes com a camada de base já seca.

Após a realização das amostras estas ficaram a secar em laboratório (Figura 6.5). Embora o tempo de carbonatação da cal indicado pelo fabricante seja 240 dias para camadas com 15 mm de espessura (Fradical, s.d.) os revestimentos exteriores estão imediatamente sujeitos às condições atmosféricas após aplicação, sendo vantajosa a sua aplicação em tempo seco de modo a não existir arrastamento de material pela chuva. Foi decidido realizar um tempo de cura de cerca de 28 dias para os provetes ganharem consistência mínima e evitar a sua rápida desagregação quando sujeita ao ciclo de envelhecimento, simulando desta forma o tempo seco.

### 6.3. Caracterização climatológica da cidade

De modo a efectuar uma caracterização do envelhecimento dos provetes em condições similares às observadas na cidade de Coimbra verificaram-se os dados climatológicos da região. Dada a impossibilidade de realizar a simulação no equipamento dos vários meses do ano, foi decidido efectuar grupos de 3 meses coincidentes com as estações do ano.

Foram considerados como principais agentes de degradação as variações de temperatura ambiente, a erosão provocada pela precipitação e o efeito de aquecimento provocado pela radiação solar.

Com base nas Normais Climatológicas 1981-2010 (provisórias) apresentadas pelo IPMA em Setembro 2012 os resultados do menor valor da temperatura mínima, o máximo valor da temperatura máxima e a média da temperatura média para a estação de Coimbra (Bencanta) são os apresentados na Gráfico 6.7.

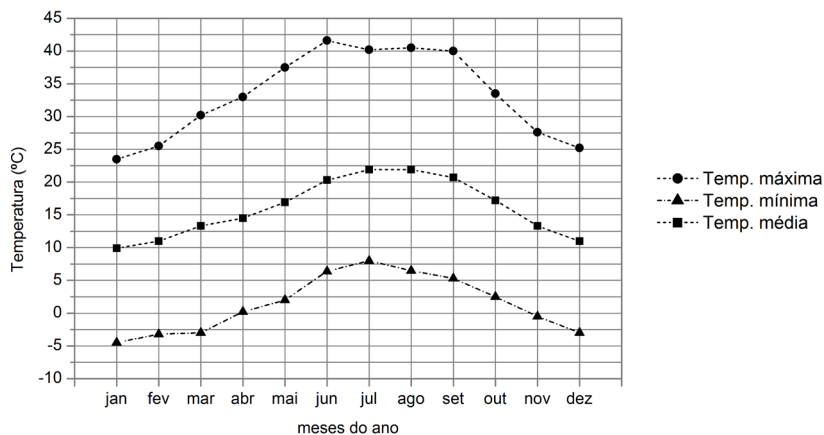


GRÁFICO 6.7 – Valores do máximo valor da temperatura máxima, do menor valor da temperatura mínima e a média da temperatura média para a estação de Coimbra (Bencanta) segundo as Normais Climatológicas 1981-2010 (provisórias) (IPMA, 2012).

Este gráfico permite perceber que o máximo valor da temperatura máxima é atingido em Junho com 41,6°C mas os meses de Julho, Agosto e Setembro apresentam valores máximos superiores ou iguais a 40°C. No caso das temperaturas mínimas, o mínimo valor da temperatura mínima foi atingido em Janeiro com o valor de -4,5°C mas os meses de Novembro, Dezembro, Fevereiro e Março apresentam também temperaturas mínimas inferiores a zero graus.

Os valores de precipitação baseados nas normais climatológicas de 1971-2000 (AEME, IMP, 2011) reflectem uma variação significativa entre os meses de Verão e de Inverno com um valor médio de precipitação mais elevado em Dezembro e um mínimo em Julho (Gráfico 6.8 a). São no entanto de salientar os valores máximos diários obtidos em cada mês nos quais se destaca Setembro com um valor de máximo de precipitação diária de 78,1 mm. Os valores de precipitação máxima diários são bastante elevados quando comparados com os valores médios, sendo significativamente superiores a estes, principalmente nos meses de Verão isto é de Julho a Setembro, podendo em certos casos o valor mensal ser igual ao valor diário como é o caso de Junho. Foram ainda analisados os valores médios mensais dos anos 2005 a 2011 tendo como



base os relatórios mensais de Informação Climática (Janeiro 2005 a Março 2008) e no Boletim Climatológico Mensal (Abril 2008 a Dezembro de 2011) editados pelo Instituto de Meteorologia I.P. (Gráfico 6.8 b)

A insolação é um factor de substancial importância no que se refere à degradação da cor de qualquer revestimento, pois muitas das substâncias

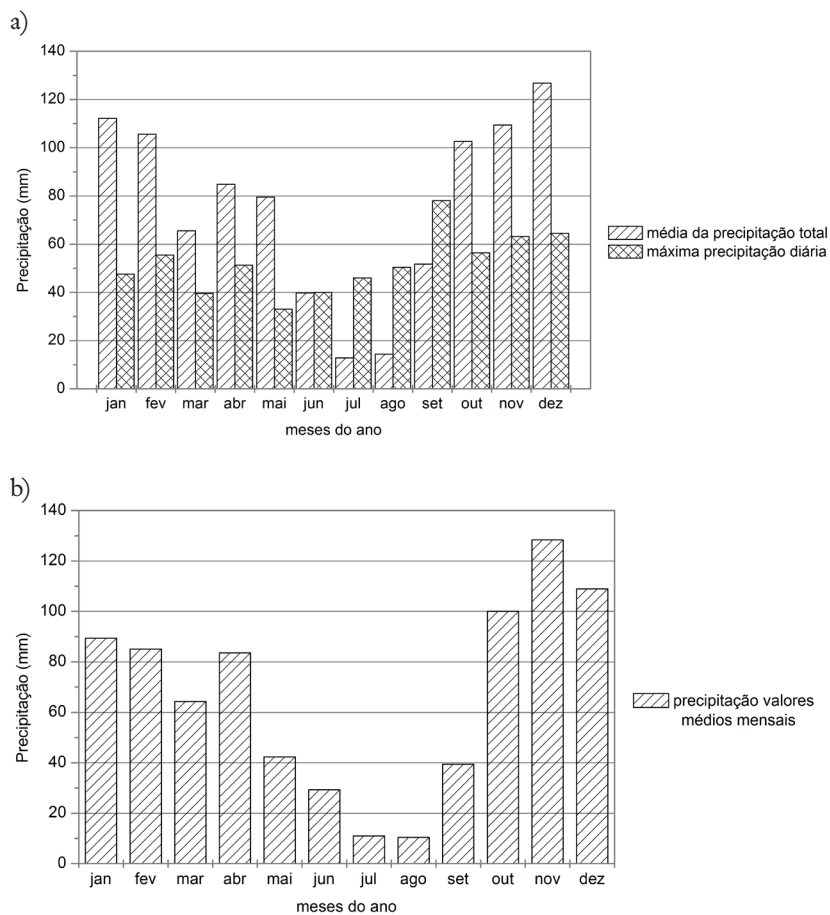


GRÁFICO 6.8 – (a) Valores de precipitação média total e máxima precipitação diária baseados nas normais climatológicas de 1971-2000 em Coimbra (Bencanta) (AEME, IMP, 2011); (b) valores de precipitação determinados com base nos valores médios mensais de 2005 a 2011.

utilizadas são sensíveis aos raios ultravioleta. Os valores de insolação mensais utilizados neste estudo foram obtidos nos relatórios mensais de Informação Climática (Janeiro 2005 a Março 2008) e no Boletim Climatológico Mensal (Abril 2008 a Dezembro de 2011) editados pelo Instituto de Meteorologia I.P. e variam entre 141 horas em Novembro e 321 horas em Julho (Gráfico 6.9).

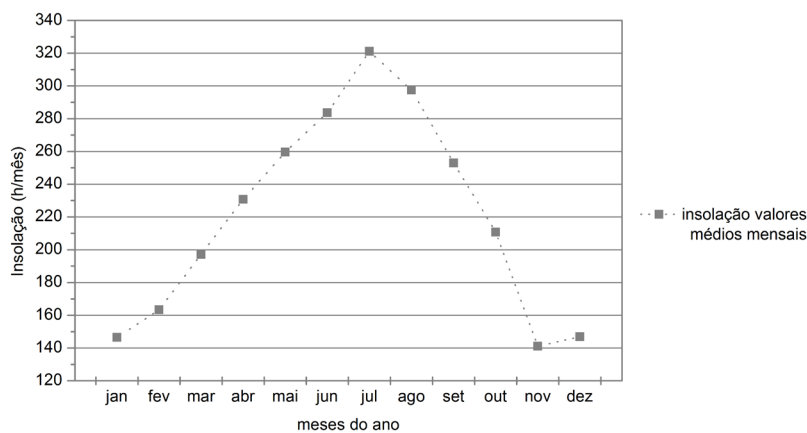


GRÁFICO 6.9 – Valores de insolação média mensal em Coimbra entre 2005 e 2011.

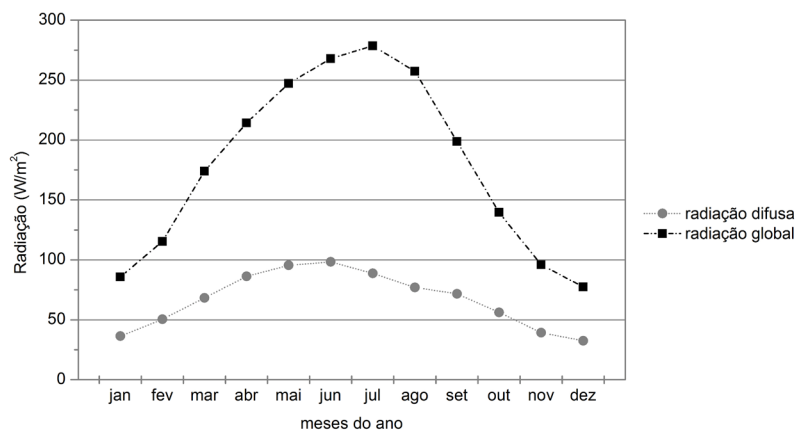


GRÁFICO 6.10 – Valores de radiação difusa e radiação global registados para Coimbra nas normais climatológicas 1961-1990.

Além da insolação e dado que o equipamento a utilizar aplica radiação foi ainda analisada a radiação difusa e global fornecida pelo Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, Valores Climatológicos e actinométricos normais 1961-1990 (s.d.). A utilização destes dados em detrimento de outros mais recentes foi considerada pelo facto de apenas esta apresentar informação acerca da radiação global e difusa estando os valores recolhidos apresentados no Gráfico 6.10.

#### 6.4. Adaptação das condições climáticas à câmara de envelhecimento

O envelhecimento das amostras foi realizado numa câmara de envelhecimento artificial acelerado Q-SUN XE-3-HS (Figura 6.6). Esta câmara reproduz os danos causados pelo espectro total da luz solar e da chuva. Em poucos dias ou semanas, a câmara Q-SUN pode reproduzir o dano que ocorre ao longo de meses ou anos ao ar livre. Utiliza três lâmpadas de xénon e permite o controlo da humidade, com pulverização opcional.

##### Condições de operação

Temperatura na câmara: 10 °C – 65 °C

Temperatura do *black panel*: 25 °C – 110 °C

Humidade Relativa: 20 % – 95 %

Área máxima de exposição de amostras: 0,45 m x 0,72 m

Caudal máximo: 1,4 l/min

Volume médio diário de aspersão: 0,12 l/min

Radiação a 340 nm: 0,25 W/m<sup>2</sup> – 0,63 W/m<sup>2</sup>

Os valores de temperatura máxima e precipitação máxima utilizados da determinação das condições do ciclo de envelhecimento foram baseados nos valores obtidos na estação de Coimbra/Bencanta sujeitos a alterações devido a exigências do equipamento (Tabela 6.1). Não foram considerados os valores de temperatura mínima porque o equipamento utilizado não admite valores inferiores a 10°C. Os valores da precipitação considerados foram os valores médios mensais de precipitação entre 2005 a 2011. Os valores da radiação são baseados nas normais climatológicas de 1961-1990 convertidos para W/(m<sup>2</sup>.nm).

TABELA 6.1 – Valores da temperatura máxima, precipitação e radiação utilizados para determinação das condições da câmara de envelhecimento

Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
$T_{\text{máx}}$	26°C	37°C	40°C	29°C
P (mm)	80	52	20	112
R W/(m <sup>2</sup> .nm)	0,15	0,20	0,18	0,13

A temperatura de um revestimento exterior sujeito à radiação solar apresenta uma temperatura superior à do ambiente (APICER/CTCV, 2003) e a determinação do seu valor é possível através da seguinte fórmula:

$$t_{se} = t_e + \frac{\alpha_s \times R}{h_e}$$

em que:

- $t_{sc}$ : Temperatura da superfície exterior – [°C];
- $t_e$ : Temperatura do ambiente exterior – [°C];
- $\alpha_s$ : Coeficiente de absorção da radiação solar – [-];
- R: Radiação solar global – [W/m<sup>2</sup>];
- $h_e$ : Condutância térmica superficial exterior – [W/(m<sup>2</sup>.°C)].

O valor de  $t_e$  utilizado foi o valor da temperatura ambiente máxima exterior e considerou-se o valor de  $h_e = 25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$  para as estações frias (Outono e Inverno) e  $h_e = 18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$  para as estações quentes (Primavera e Verão).

Os valores do coeficiente de absorção da radiação solar são sobretudo condicionados pela cor e os valores da intensidade da radiação global depende de diversos factores, tais como: 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 e o ambiente circundante, nomeadamente o sombreamento que provoca sobre a superfície. Os valores do coeficiente de absorção e de radiação solar global utilizados para o cálculo da temperatura da superfície exterior encontram-se nas Tabelas 6.2 e 6.3.

TABELA 6.2 – Valores dos coeficientes de absorção da radiação solar de algumas superfícies em função da cor (APICER/CTCV, 2003)

Cor da Superfície	Valor de $\alpha_s$	
	Máximo	Mínimo
Branco	0,2	0,3
Amarelo, cor-de-laranja, vermelho claro	0,3	0,5
Vermelho escuro, verde-claro, azul claro	0,5	0,7
Castanho, verde-escuro, azul vivo, azul-escuro	0,7	0,9
Castanho-escuro, preto	0,9	1,0

TABELA 6.3 – Valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores em Portugal Continental (APICER/CTCV, 2003).

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

Dos valores de radiação solar global possíveis para cada orientação optou-se por avaliar os valores da orientação a Sul (S) por corresponder aos valores mais elevados no Inverno e da orientação Sudeste (SE) que corresponda à média mais elevada.

Os valores de temperatura da superfície exterior obtidos para um revestimento de cor castanha, verde-escuro, azul-vivo ou azul-escuro, isto é, com um  $\alpha_s$  entre 0,7 e 0,9 (foi considerado o ponto médio, isto é  $\alpha_s=0,8$ ) são os que se apresentam na Tabela 6.4. A escolha deste selecção de cores foi realizada

tendo por base o facto de serem os valores mais elevados de  $\alpha_s$  para as cores existentes nos revestimentos do CHC, como por exemplo o azul vivo.

TABELA 6.4 – Valores da temperatura da superfície exterior

Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
$T_{s.e.}$ (Sul)	60°C	72°C	61°C	54°C
$T_{s.e.}$ (Sudeste)	56°C	81°C	79°C	60°C

A determinação deste parâmetro é fundamental de modo a controlar a temperatura do *black panel* existente no equipamento. Este sensor permite verificar a temperatura que um elemento de cor negra atinge quando sujeito à irradiação pretendida e verificar se a temperatura atingida é semelhante à pretendida para a superfície em estudo. De acordo com os dados foi decidido utilizar os valores correspondentes à exposição a Sudeste, dentro das possibilidades do equipamento, por serem os globalmente mais elevados.

A quantidade de água a ser aspergida durante o ensaio na câmara de envelhecimento foi determinada em função dos valores médios mensais de precipitação de 2005 a 2011, da área em exposição na câmara de envelhecimento (0,324 m<sup>2</sup>) que vai ser afectada pela aspersão, e do caudal que vem predefinido no equipamento. Assim sendo, como o volume de água aspergido é constante (0,12 litros/min) a única variável possível é o tempo de permanência.

Os valores utilizados para simular a precipitação na zona de Coimbra tendo em conta o que foi referido anteriormente são os apresentados na Tabela 6.5.

TABELA 6.5 – Valores médios do tempo de aspersão equivalente ao volume de precipitação na zona de Coimbra.

Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Duração [minutos]	644	418	164	910

Os valores de irradiação utilizados para o envelhecimento das amostras foram determinados a partir dos valores médios mensais de radiação global das normais de 1961 a 1990 (Tabela 6.6) correspondentes ao comprimento de onda de 340nm.

TABELA 6.6 – Valores de irradiação calculados para um comprimento de onda de 340nm

Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
Irradiação [W/(m <sup>2</sup> .nm)]	0,37	0,71	0,72	0,31

Tendo em conta que a câmara de envelhecimento tem um valor mínimo de irradiação de 0,25 W/(m<sup>2</sup>.nm) e um máximo de 0,68 W/(m<sup>2</sup>.nm), no comprimento de onda de 340nm, os valores foram ligeiramente alterados (Q-LAB, 2010). Ficou assim estabelecido que os valores de irradiação para este trabalho teriam de variar entre 0,35 e 0,68 W/m<sup>2</sup> (Tabela 6.7).

Um factor de envelhecimento é a exposição radiante na gama de comprimento de onda abaixo de 400 nm ou a um especificado comprimento de onda, por exemplo 340 nm (ISO 11341, 2004). O comportamento dos revestimentos expostos a envelhecimento artificial, ou a radiação artificial, depende do tipo de revestimento, das condições de exposição, da propriedade seleccionada para a monitorização, do progresso do processo de envelhecimento e do grau de alteração da propriedade.

O ciclo de envelhecimento foi estabelecido tendo por base os valores climatológicos obtidos para a cidade de Coimbra e a norma ISO 11341 – *Paints and varnishes — Artificial weathering and exposure to artificial radiation — Exposure to filtered xenon-arc radiation* (2004) e as características técnicas da câmara de envelhecimento. Esta norma recomenda a utilização de irradiação a 0,51 W/(m<sup>2</sup>.nm) a 340nm, com uma temperatura do *black-panel* a 63°C, temperatura ambiente de 38°C e humidade a variar entre 40 e 60% quando as amostras não estão a ser molhadas.

Embora tenham sido averiguadas as diversas situações de temperatura, precipitação e radiação existentes na cidade de Coimbra, estas não puderam

ser aplicadas na sua totalidade devido às especificações do equipamento, funcionando apenas como valores indicativos.

Função da temperatura mínima de trabalho do equipamento ser 10°C e da temperatura mínima atingível num passo com irradiação ser de aproximadamente 32°C, as temperaturas mínimas do CHC foram desconsideradas para os passos do ciclo de envelhecimento. As temperaturas máximas foram também alteradas para valores superiores função da irradiação e da temperatura do *black panel* de acordo com as condições do equipamento. Os valores de temperatura definidos para o ciclo de envelhecimento foram os indicados na Tabela 6.7. A temperatura de superfície exterior, controlada pelo *black panel* instalado no interior da câmara, foi alterada função dos mesmos parâmetros. Os valores de  $T_{s.c.}$  determinados para a orientação Sudeste foram tidos em conta mas alterados quando ocorria irradiação e precipitação simultaneamente, porque o arrefecimento do *black panel* provocado pela aspersão diminuiu a sua temperatura de tal modo que a câmara não conseguia atingir o valor pré-determinado.

TABELA 6.7 – Ciclo de envelhecimento após ajustes com as condições específicas da câmara Q-SUN XE-3-HS.

Estação	Passo	Tempo (h:m)	Temperatura	Temperatura da superfície (black panel)	Precipitação	Irradiação	Repetições
Inverno	1	1:42	23°C	---	0,12 l/min	---	Repetir 3x (Janeiro, Fevereiro e Março)
	2	1:52	38°C	55°C	---	0,37W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	3	1:52	38°C	40°C	0,12 l/min	0,37W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	4	1:52	38°C	55°C	---	0,37W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	5	4:39	23°C	---	---	---	
Primavera	6	3:05	39°C	70°C	---	0,68W/(m <sup>2</sup> .nm)	Repetir 3x (Abril, Maio e Junho)
	7	2:20	41°C	51°C	0,12 l/min	0,68W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	8	3:05	39°C	70°C	---	0,68W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	9	3:29	29°C	---	---	---	



Estação	Passo	Tempo (h:m)	Temperatura	Temperatura da superfície (black panel)	Precipitação	Irradiação	Repetições
Verão	10	4:16	42°C	75°C	---	0,68W/(m <sup>2</sup> .nm)	Repetir 3x (Julho, Agosto e Setembro)
	11	0:55	40°C	60°C	0,12 l/min	0,68W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	12	4:16	41°C	75°C	---	0,68W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	13	2:32	26°C		---	---	
Outono	14	3:15	24°C		0,12 l/min	---	Repetir 3x (Outubro, Novembro e Dezembro)
	15	1:48	38°C	55°C	---	0,35W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	16	1:48	38°C	40°C	0,12 l/min	0,35W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	17	1:48	38°C	55°C	---	0,35W/(m <sup>2</sup> .nm)	
	18	3:19	27°C		---	---	

O ciclo de envelhecimento simulado foi estruturado para uma duração total de 144 horas em que para cada mês corresponde a uma duração de 12 horas com fases de cinco tipos distintos:

1. Temperatura baixa e precipitação; (1, 14)
2. Temperatura elevada e irradiação; (2, 6, 10, 15)
3. Temperatura elevada, irradiação e precipitação; (3, 7, 11, 16)
4. Temperatura elevada e irradiação; (4, 8, 12, 17)
5. Temperatura baixa. (5, 9, 13, 18)

Tendo como base este ciclo foram criados múltiplos com 288, 432, 576 e 720 horas de ensaio para tentar corresponder períodos de tempo a variar entre 1 e 5 anos. Para estabelecer uma relação entre o envelhecimento natural e o simulado na câmara também foram colocadas no exterior amostras de revestimento com maior dimensão, orientadas a Sudeste para estarem sujeitas a condições climáticas semelhantes às consideradas na câmara e permitir a comparação de resultados (Figura 6.7).

## 6.5. Resultados

De modo a comparar as condições de envelhecimento natural com as implementadas na câmara de envelhecimento decidimos conferir os valores da radiação e da precipitação que ocorreram em Coimbra entre Fevereiro de 2013 (data da colocação dos provetes no exterior) e Novembro de 2015 (data em que perfaziam 1000 dias de exposição). Os gráficos obtidos estão apresentados no Gráfico 6.11 onde se pode observar que durante os 100 dias iniciais os provetes expostos no exterior foram sujeitos a um valor de precipitação de cerca de 400 mm a que se seguiu uma fase de pouca precipitação, correspondente ao período de Verão e novo período de lavagem acentuada até aos 300 dias. Daí até ao final do ensaio estes ciclos foram alternando atingindo o valor de 2477 mm. Quando comparamos este valor com o implementado na câmara de envelhecimento verificamos que apesar de 1000 dias corresponder a cerca de 2,7 anos, a precipitação equivalente corresponderá a um valor intermédio entre o ensaio de 432h (equivalente a 3 anos) e 576h (equivalente a 4 anos).

No caso da radiação registada ( $6313 \text{ W/m}^2$ ) esta apresenta-se superior ao valor atingido nas 288h ( $5820 \text{ W/m}^2$ ) e inferior ao alcançado nas 432h ( $8731 \text{ W/m}^2$ ) pelo que está dentro dos parâmetros estabelecidos.

Para avaliar a degradação das amostras de envelhecimento natural e envelhecimento na câmara, foram analisadas antes e após o envelhecimento a cor (determinada com o espectrocolorímetro em locais pré-definidos nas

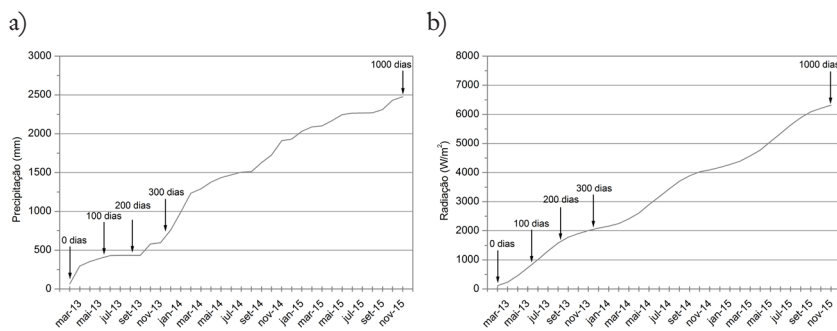


GRÁFICO 6.11 – Valores de precipitação (a) e radiação global (b) observados em Coimbra entre Fevereiro 2013 e Novembro 2015, com indicação das datas de recolha colorimétrica nos provetes (IPMA, 2013- 2015).

amostras) e o aspecto superficial (por avaliação visual). Estas são as duas principais propriedades geralmente avaliadas para materiais de aplicação superficial por corresponderem a testes não destrutivos (NDT) (Crewdson e Ketola, 2009)

No caso do barramento branco os valores da reflectância medidos nos provetes colocados no exterior (Gráfico 6.12 a, b) apresentam uma descida de valores progressiva com o tempo, mais acentuada no caso dos provetes colocados na horizontal, atingindo um patamar estável dentro das flutuações devidas às variações naturais do material aos 300 dias não apresentando grande variação até aos 1000 dias<sup>1</sup>.

Os provetes colocados na câmara de envelhecimento acelerado (Gráfico 6.12 c) apresentam apenas uma ligeira variação de espectro de reflectância

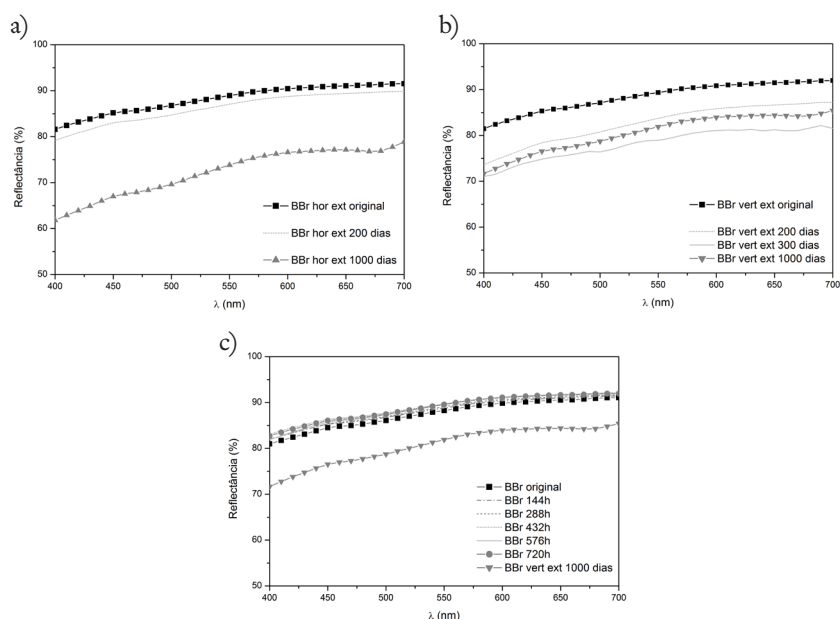


GRÁFICO 6.12 – Espectros de reflectância dos provetes de barramento branco colocados no exterior (a – horizontal e b – vertical) e na câmara de envelhecimento acelerado (c).

<sup>1</sup> Não foi possível apresentar as medições realizadas aos 100 e 300 dias nos provetes horizontais e 100 dias nos provetes verticais, devido a problemas na leitura dos ficheiros existentes.

para os vários tempos considerados, sendo de assinalar que é uma variação para valores superiores (mais claros) que pode corresponder às exposições sucessivas da precipitação induzida que conduz à lavagem e remoção constante da superfície com exposição renovada de áreas não degradadas.

Admitimos que a variação mais significativa do espectro nos provetes em ambiente exterior colocados na horizontal esteja relacionada com o escurecimento devido a poeiras que se depositam sobre a amostra. No caso dos provetes colocados em posição próxima da vertical estes são consecutivamente lavados pela chuva, pelo que parte das poeiras são removidas por escorrência. Este facto pode também explicar a diferença significativa existente entre os espectros obtidos nas amostras colocadas no exterior e as da câmara de envelhecimento, não sendo reproduzível nesta nem o andamento nem o tipo de variação obtido nas primeiras (Gráfico 6.12 c).

Os provetes de barramento amarelo apresentam variações diferentes consoante se considera cada grupo de provetes ensaiados (Gráfico 6.13 a, b, c).

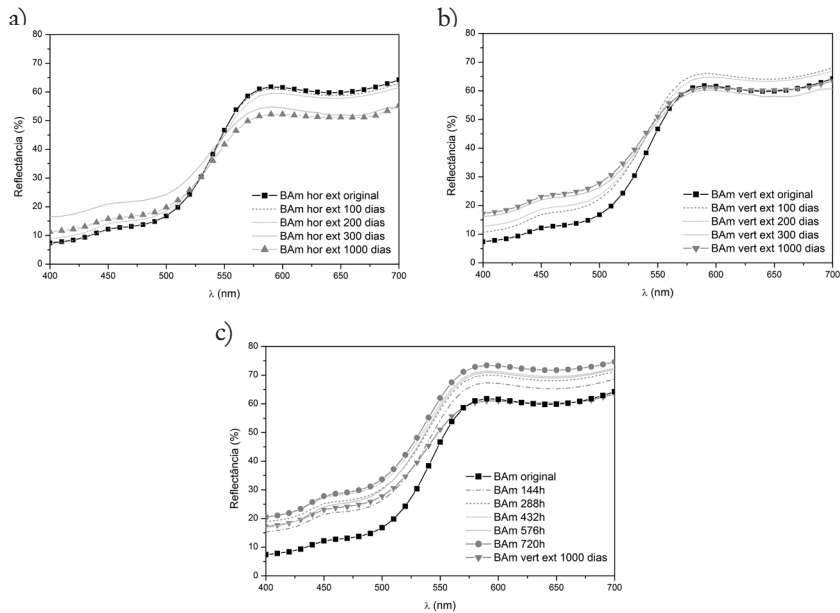


GRÁFICO 6.13 – Espectros de reflectância dos provetes de barramento amarelo colocados no exterior (a – horizontal e b – vertical) e na câmara de envelhecimento acelerado (c).

Nos provetes colocados no exterior em posição horizontal verifica-se uma inicial subida do espectro na zona do azul (400-500nm) com posterior estabilização em valores ligeiramente superiores aos originais. No espectro na zona do amarelo-vermelho (600-700nm) verifica-se uma descida sequencial desde o inicial até ao final.

Os provetes colocados em posição vertical apresentam ligeira variação de espectro na zona do amarelo-vermelho, sendo o último idêntico ao primeiro. As variações apresentadas de cerca de 5% podem corresponder a flutuações devido a heterogeneidades dos provetes. No entanto, na zona dos azuis verifica-se uma subida contínua do espectro.

As amostras amarelas sujeitas ao ciclo de envelhecimento na câmara (Gráfico 6.13 c) apresentam uma variação sequencial para valores mais elevados, mas no seu conjunto o andamento do espectro é idêntico ao inicial, situação que não se verificou nas amostras do exterior, apresentando estas últimas espectros em valores mais baixos.

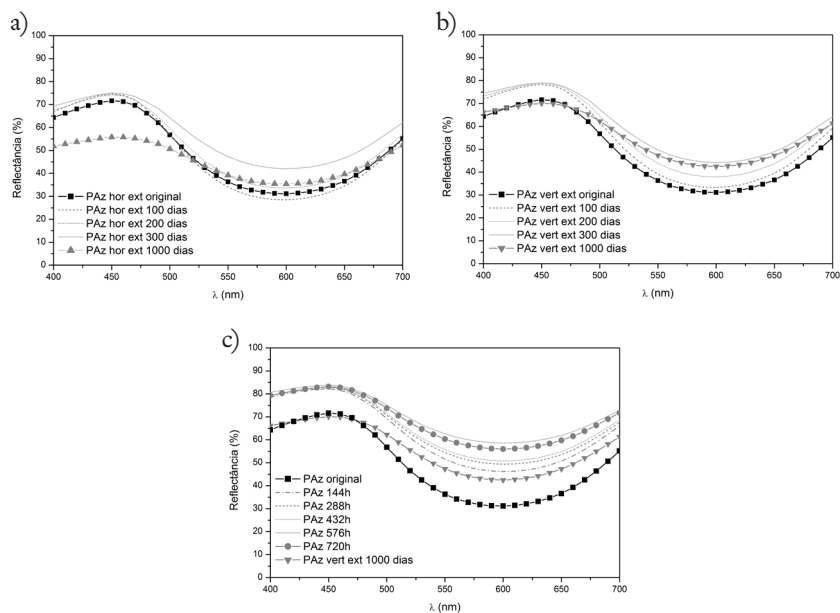


GRÁFICO 6.14 – Espectros de reflectância dos provetes da pintura azul colocados no exterior (a – horizontal e b – vertical) e na câmara de envelhecimento acelerado (c).

No caso da pintura azul (Gráfico 6.14 a, b, c) é de salientar que o espectro de reflectância dos provetes colocados na horizontal apresentam variações ligeiras nas primeiras avaliações sendo seguida de uma descida significativa (15-20%) na zona dos azuis (400-500nm) que não se regista no caso dos provetes verticais apresentando estes tendência para valores mais elevados na segunda metade do espectro (500-700nm).

Os espectros de reflectância das amostras que estiveram na câmara de envelhecimento (Gráfico 6.14 c) apresentam uma subida significativa (15%) em todo o espectro e que estabiliza na gama 400-500nm após 144h de ensaio. Na gama de valores dos 500-700nm a variação é oscilante dando sinais de estabilizar apenas após 576h de ensaio. O espectro das amostras finais dos dois conjuntos de provetes apresenta um andamento idêntico apesar de os da câmara corresponderem a valores mais elevados. Parece existir uma remoção do pigmento pela exposição à água que estabiliza ao fim de algum tempo.

No caso da pintura rosa apenas foram testados provetes na câmara de envelhecimento (Gráfico 6.15). Neste caso o espectro apresenta uma variação positiva de cerca de 15% nos valores mais baixos (400-550nm) mas nos valores mais elevados a variação apesar de similar apresenta menor amplitude. No global o espectro apresenta-se todo com valores finais mais elevados que os iniciais estabilizando o ensaio após 576h.

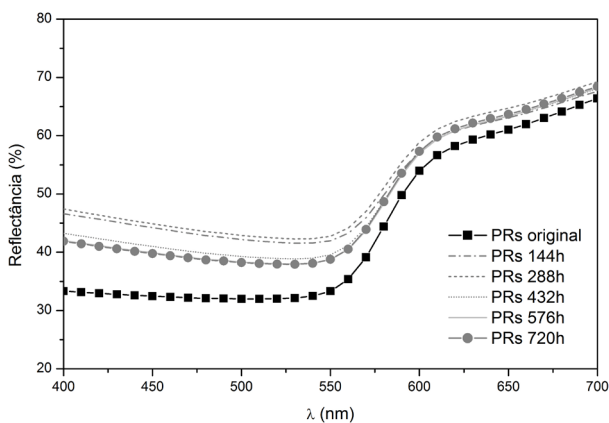


GRÁFICO 6.15 – Espectros de reflectância dos provetes da pintura rosa na câmara de envelhecimento acelerado.

No caso dos provetes onde foram aplicados barramentos mais grosseiros o efeito do envelhecimento é distinto do observado nas pinturas devido à presença de areias que introduzem heterogeneidades próprias do material. Os provetes de Fingido Pedra sujeitos a envelhecimento natural<sup>2</sup> e na câmara de envelhecimento (Gráfico 6.16 a, b, c) apresentam um espectro que no seu conjunto tem evoluções semelhantes com uma subida inicial para os primeiros tempos (200 dias, 144h, 288h, respectivamente para ensaios no exterior e na câmara) seguida de uma descida no final do ensaio. No caso dos provetes colocados na horizontal a descida é mais significativa do que a registada nos provetes em posição vertical, possivelmente devido ao acumular de poeiras que promove um escurecimento das amostras. O efeito registado nos provetes ensaiados na câmara até 720h é no entanto

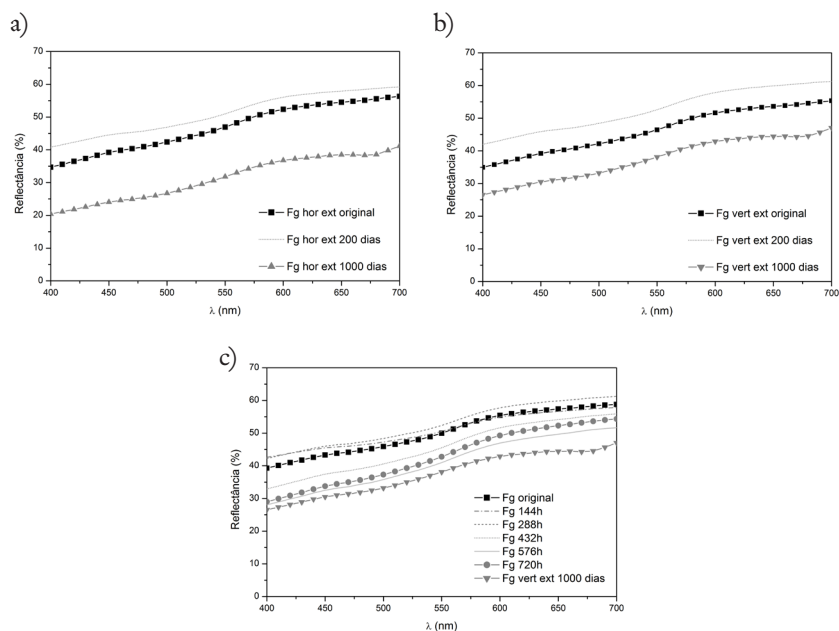


GRÁFICO 6.16 – Espectros de reflectância dos provetes de Fingido de Pedra colocados no exterior (a – horizontal e b – vertical) e na câmara de envelhecimento acelerado (c).

<sup>2</sup> Não foi possível apresentar as medições realizadas aos 100 e 300 dias destes provetes, devido a problemas na leitura dos ficheiros existentes.

inferior ao registado no exterior com 1000 dias. No geral, o efeito do envelhecimento no espectro (10-15%) é sempre superior ao registado devido à heterogeneidade das leituras (5%).

Os provetes onde se aplicou o barramento vermelho (Gráfico 6.17 a, b, c) apresentam uma variação de espectro na gama dos azuis-verde (400-550nm) pouco significativa (5%) e que por isso pode ser considerada dentro das heterogeneidades relativas ao material. No entanto, na gama 600-700nm as variações são mais significativas e em sentido descendente. Admitimos que este facto esteja relacionado com a maior evidência das areias presentes que promovem efeitos de difusão da luz. Quando comparamos o efeito de envelhecimento na câmara e no exterior verifica-se que ambos seguem o mesmo andamento mas é mais notória a variação nos provetes colocados no exterior.

No caso do barramento azul apenas dispomos de provetes ensaiados na câmara de envelhecimento (Gráfico 6.18). No conjunto é notória a evolução

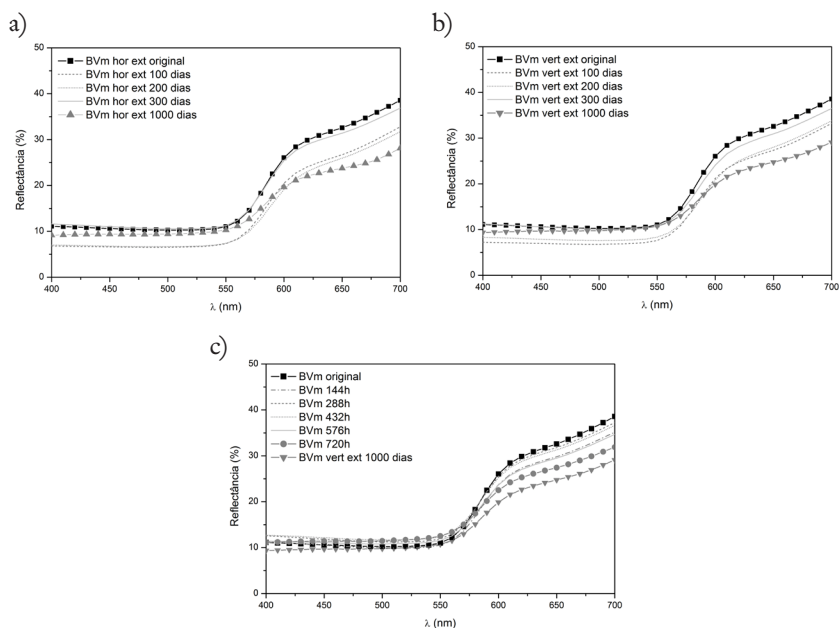


GRÁFICO 6.17 – Espectros de reflectância dos provetes do barramento vermelho colocados no exterior (a – horizontal e b – vertical) e na câmara de envelhecimento acelerado (c).



para valores mais elevados do espectro na gama dos 500 aos 700nm correspondente à zona amarelo-vermelho, sendo mais estável na gama dos azuis e estabilizando a partir do ensaio de 288h apenas com variações dentro da margem de heterogeneidade do material. A presença de areias não parece afectar significativamente a evolução do espectro quando comparado com os da pintura azul. Este efeito é observável nas amostras que se apresentam globalmente mais claras.

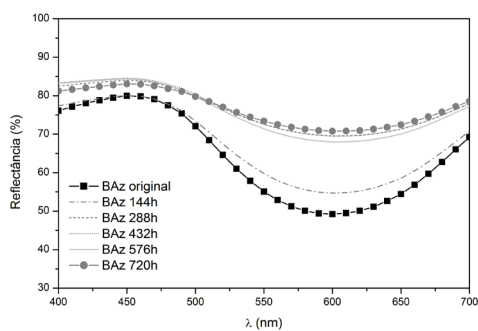


GRÁFICO 6.18 – Espectros de reflectância dos provetes do barramento azul colocados na câmara de envelhecimento acelerado.

## 6.6. Comentários finais

O trabalho desenvolvido no âmbito da realização de protótipos de revestimentos coloridos em argamassa quer eles sejam obtidos por pintura ou barramentos sofreu várias modificações ao longo do tempo. Um dos factores de maior impacto foram as características e os problemas de funcionamento da câmara de envelhecimento. Se por um lado ela apresentava boas características no sentido da simulação da luz solar, permitindo simultaneamente introduzir o factor chuva, por outro não permitia a introdução de temperaturas baixas que ocorrem na cidade. Além disso não foi possível em tempo útil do projecto efectuar ensaios de envelhecimento acelerado correspondentes ao máximo de 3000 h para cada tipo de provetes como é indicado por alguns investigadores (Crewdson e Ketola, 2009) pois o tempo disponível do projecto apenas permitiria o estudo de um ou dois tipos de revestimentos. Deste modo foi encontrada uma solução de compromisso que permitiu o estudo

de um conjunto de sete tipos de revestimentos e a comparação de alguns destes com os ensaios de envelhecimento em ambiente atmosférico exterior.

Dos ensaios realizados podemos concluir que genericamente os efeitos provocados pela câmara de envelhecimento acelerado, com o ciclo por nós definido, são menores que os ocorridos no exterior, mesmo assumindo que as 720h de ensaio correspondam a 1,2 anos (considerando que 3000h de ensaio serão equivalentes a 5 anos) pois os ensaios no exterior prolongaram-se até 1000 dias (2,7 anos) e os valores não são equiparáveis.

Embora no caso do barramento vermelho o espectro de reflectância obtido para os vários conjuntos de amostras apresentar o mesmo andamento, no barramento branco os resultados de ambos os processos de envelhecimento não são similares, possivelmente devido ao impacto cromático que as poeiras apresentam nas amostras colocadas no exterior.

Nos restantes casos verifica-se que quer as pinturas quer os barramentos quando sujeitos a envelhecimento na câmara ou no exterior em posição próximo da vertical ficam tendencialmente mais claros possivelmente por lavagem e remoção do pigmento colocando em evidência o branco da pasta de cal. Situação oposta é verificada pelos provetes de coloração clara (branco, amarelo e azul) colocados em ambiente exterior horizontal que por deposição de partículas tornam o espectro de reflectância mais escuro na generalidade.

## 6.7. Referências

- AEME, IMP, 2011, Atlas Climático Ibérico. Agencia Estatal de Meteorología de España e Instituto de Meteorologia de Portugal. Disponível em [http://www.ipma.pt/resources.www/docs\\_pontuais/ocorrencias/2011/atlas\\_clima\\_iberico.pdf](http://www.ipma.pt/resources.www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf) consultado em Setembro 2012.
- APICER/CTCV, 2003, *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*. Editores Serra e Sousa, A.V., Freitas, V.P., Mendes da Silva, J.A.R.. Coimbra, 248 p.
- Castelo Branco, F., 2009, Levantamento das características dos agregados produzidos em Portugal. Trabalho realizado para o InIR pela FCTUC, Versão provisória.
- Crowdson, M.J., Ketola W.D., 2009. Best practices in weathering. *European Coatings Journal* 04 (2009). Disponível em <http://www.european-coatings.com/eJournal>.
- Fradical, s.d., Produtos. FRADICAL – Fábrica de Transformação de Cal, Lda. Disponível em <http://fradical.pt/> consultado em Março 2013.
- Gameiro, A.; Santos Silva, A.; Veiga, R.; Velosa, A.; Faria, P., 2012, Lime-metakaolin mortars for historical buildings repair: study of the hardening reaction ICDS12-

- INTERNATIONAL CONFERENCE DURABLE STRUCTURES: from construction to rehabilitation, Lisbon, Portugal
- Grilo, J.; Santos Silva, A.; Faria, P.; Gameiro, A.; Veiga, R.; Velosa, A., 2014 Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions. *Construction and Building Materials* 51, 287–294.
- Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, s.d., Valores Climatológicos e actinométricos normais 1961-1990. Disponível em [http://www1.ci.uc.pt/iguc/dados\\_clima/norm6190.htm](http://www1.ci.uc.pt/iguc/dados_clima/norm6190.htm) consultado em Outubro 2012.
- IPMA, I.P., 2005-2011, Informação Climática (Janeiro 2005 a Março 2008) e Boletim Climatológico Mensal (Abril 2008 a Dezembro de 2011). Disponível em <http://www.meteo.pt> consultado em Setembro 2012.
- IPMA, I.P., 2012, Normais Climatológicas 1981-2010 (provisórias). Disponível em <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/006/> consultado em Setembro 2012.
- IPMA, I.P., 2013-2015, Boletim Climatológico Mensal, Portugal Continental (Fevereiro 2013 a Novembro de 2015). Disponível em <http://www.ipma.pt> consultado em Dezembro 2015.
- Mascarenhas, J., 2002, Sistemas de construção: descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal. Livros Horizonte, Vol 2. Lisboa.
- Ordem dos Engenheiros, 2011, Regiões. Região Norte, V Encontro de Engenharia Civil do Norte de Portugal e Galiza. *Ingenium*, nº 121 Jan/Fev 2011, pg 16.
- Q-LAB, 2010, Quick Set-up Guide Q-SUN Xenon Test Chamber Model Xe-3-H/HS/HBS, Q-LAB Headquarters, Unites States, 121p
- Vargas, D.E.L.F., 2013, Argamassas de cal aérea e metacaulino. A influência do traço e da cura. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil –Perfil de Construção. FCT Universidade Nova de Lisboa.
- Veiga, M.R., Velosa, A.L., Tavares, M., 2008, A cor das argamassas, *Revista Construção Magazine*, nº 25, 13-17.