



**DAVID MANUEL
PEREIRA MONTEIRO**

**ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO A SISTEMAS
AZULEJARES DE FACHADA**



**DAVID MANUEL
PEREIRA MONTEIRO**

**ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO A SISTEMAS
AZULEJARES DE FACHADA**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Lomelino Velosa, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil Universidade de Aveiro e do Doutor Luís Filipe Mariz de Matos Ferreira, Investigador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais pelo incansável apoio e ajuda.

À avó que estará sempre comigo.

o júri

Presidente

Professora Doutor Aníbal Guimarães da Costa
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Professor Doutor João Paulo Pereira de Freitas Coroado
Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Tomar

Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutor Luís Filipe Mariz de Matos Ferreira
Investigador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Embora a presente dissertação seja apresentada como resultado de um trabalho individual é, na verdade, o corolário resultado de um conjunto de ensinamentos que o autor foi colecionando no decorrer de seu processo de aprendizagem. Neste sentido, todo o trabalho de formação, de construção dos conhecimentos, assim como a obtenção dos objetivos propostos, não seriam possíveis sem o apoio e incentivo de várias pessoas. Desta forma, pretendo agradecer a todos as pessoas que contribuíram na realização deste trabalho.

À Professora Ana Luísa Velosa, orientadora da dissertação, pela sua disponibilidade, compreensão, apoio, sugestões e partilha de conhecimentos ao longo deste projeto. Por ter acreditado em mim e incentivado na fase inicial do projeto.

Ao Investigador Luís Mariz, co-orientador da dissertação, pelo seu auxílio constante e permanente ao longo do trabalho. A sua imaginação e experiência permitiram atingir os objetivos propostos e sugerir novas ideias em cada fase do projeto. Não poderia deixar de elogiar o seu colossal profissionalismo e paciência. Obrigado pela simpatia e o à vontade com que sempre me recebeu e tratou. Muito obrigado!

Às pessoas mais importantes da minha vida, os meus pais, pela compreensão, carinho, paciência, apoio que sempre demonstraram e sobretudo estimularam. Sempre me deram forças pela minha opção em engenharia civil, muitas das vezes abdicando muito de si, para me proporcionar o tempo, espaço e o apoio moral imprescindíveis para a minha formação.

Aos meus avós, pelo encorajamento, entusiasmo, amizade e paciência com que me acompanharam ao longo do tempo. À minha avó que já não se encontra fisicamente entre nós, mas que terá sempre um lugar especial no meu coração.

À minha namorada, pelo carinho, ajuda e apoio, que sempre acreditou em mim, incentivando nos momentos de menor ânimo. Quando temos pessoas excepcionais ao nosso lado a vida é mais bela. Muito obrigado EQ!

A todos os meus amigos da Universidade de Aveiro, Porto e pessoais, que apesar da distância e do passar dos anos, nunca são esquecidos. Sempre contribuíram para a minha formação não apenas a nível académico mas também a nível pessoal e social.

Ao Diogo Pires, com quem convivi no meu dia-a-dia ao longo deste projeto. Sinto uma grande honra ter trabalhado, discutido, convivido, ouvindo ou simplesmente desabafando contigo. Obrigado pelo teu companheirismo!

À investigadora Marisa Costa, Tiago Rodrigues e Tiago Ferreira pela sua ajuda e disponibilidade.

À equipa do Laboratório de Engenharia Civil, em especial à Engenheira Maria Carlos, Vitor Rodrigues e João Festas pela ajuda prestada nos ensaios realizados.

Ao Atelier de Conservação e Restauro de Azulejo (ACRA), em particular à Dra. Isabel Ferreira, pela ajuda demonstrada nos materiais fornecidos e simpatia.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em especial à Engenheira Rosário Veiga e Engenheiro Sandro Botas pela ajuda e apoio demonstrados.

A empresa Descut Lda, pela oferta dos cortes realizados com jacto de água nos azulejos.

A empresa Preceram S.A. pela oferta dos elementos cerâmicos utilizados nos ensaios.

A todos aqui deixo a minha profunda gratidão.

palavras-chave

Azulejo, câmara climática, temperatura e humidade, teste de envelhecimento, argamassas de cal, alvenarias de xisto, degradação e patologias de materiais, materiais tradicionais de construção.

resumo

É objetivo estudar e avaliar o comportamento de argamassas à base de ligantes aéreos para a reparação de edifícios antigos com acabamento em azulejo. São realizados provetes e sistemas recriando os sistemas tradicionais de Ovar que são sujeitos a ciclos de envelhecimento em câmara climática. Estes sistemas foram submetidos a *stress* higratérmico, sendo que foram determinadas as principais características mecânicas dos provetes ensaiados. Os dados obtidos indicam tendências comportamentais das argamassas estudadas ao longo de diferentes idades bem como permitem compreender a compatibilidade e as respetivas interações entre alvenaria, argamassa, azulejo e cantaria.

keywords

Tile, climatic chamber, temperature and humidity, ageing test, lime mortars, shale masonry, degradation and pathologies of materials, traditional building materials.

abstract

The aim of this thesis is to study and evaluate the behaviour of mortars based on air binders for the repair of old buildings with tiled façades. Specimens are made recreating traditional systems from Ovar and these are subject of ageing cycles in a climatic chamber. These systems were subjected to hydrothermal – *stress* and main mechanical characteristics of the tested samples were determined. The data obtained indicates behavioural tendencies of the mortars studied during different ages and enables the understanding of compatibility interactions between the respective brick, mortar, tile and masonry.

ÍNDICE

Índice de figuras	v
Índice de tabelas	xi
Abreviaturas	xiii
1. Introdução	1
2. Enquadramento Histórico	3
2.1. Fábricas do Século XIX	4
2.2. Azulejos Fabricados no Século XIX.....	6
2.2.1. Azulejo Relevado e Estampilha.....	6
2.2.2. Padronagem de Estampilha	7
2.2.3. Padronagem de Relevado	7
2.2.4. Padronagem de Meio – Relevado.....	8
2.2.5. Azulejaria Romântica	8
3. Condições Climatéricas e Atmosféricas.....	9
3.1. Condições Climatéricas e Atmosféricas em Portugal Continental	9
3.2. Condições Climatéricas e Atmosféricas de Ovar	9
3.2.1. Temperatura.....	11
3.2.2. Humidade	12
3.2.3. Ponto Orvalho.....	14
3.2.4. Velocidade do Vento	15
3.2.5. Qualidade do Ar	17
4. Formas, Fatores e Agentes de Degradação	19
4.1. Temperatura	19
4.2. Humidade.....	23
4.3. Sais.....	26
4.4. Vento.....	27
4.5. Agentes Biológicos	28
4.6. Fatores Humanos	31
4.7. Catástrofes e Acidentes Naturais	32
4.8. Poluentes.....	33
5. Patologias de Materiais	37
5.1. Alterações do Suporte	38

5.1.1.	Fendas Estruturais	38
5.1.2.	Deficiência de Planeza	38
5.2.	Defeitos de Fabrico em Azulejos.....	39
5.2.1.	Enrolamento	39
5.2.2.	Fissura de Cozedura	40
5.2.3.	Poros	41
5.2.4.	Laminação do Vidrado	42
5.2.5.	Craquelé	42
5.2.6.	Empeno.....	43
5.2.7.	Inclusão	44
5.3.	Degradações dos Azulejos Após Integração Arquitetónica	45
5.3.1.	Alteração na Interface Azulejos /Argamassas.....	45
5.3.1.1.	Destacamento e Empolamento.....	45
5.3.1.2.	Colonização Biológica	46
5.3.1.3.	Perda de Coesão	47
5.3.2.	Alteração na Chacota	47
5.3.2.1.	Fraturas	47
5.3.2.2.	Esmagamento	48
5.3.2.3.	Perda de Coesão	49
5.3.2.4.	Criptoflorescência	49
5.3.2.5.	Colonização Biológica	50
5.3.3.	Alteração no Vidrado	50
5.3.3.1.	Fissuração	50
5.3.3.2.	Destacamento, Empolamento e Lacunas de Vidrado	51
5.3.3.3.	Eflorescência.....	51
5.3.3.4.	Colonização Biológica	52
5.3.3.5.	Enodoamento Irreversível.....	52
5.3.3.6.	Concreções	53
5.4.	Agentes Antrotróficos.....	54
6.	Análise Experimental	57
6.1.	Matérias-Primas.....	57
6.1.1.	Análise Granulométrica.....	58
6.1.2.	Massa Volúmica Aparente	60

6.2.	Preparação.....	60
6.2.1.	Esquema de Preparação	60
6.2.2.	Montagem dos Sistemas	62
6.3.	Câmara Climática	65
6.3.1.	Parâmetros dos Ciclos de Envelhecimento.....	65
6.3.2.	Câmara de Envelhecimento Artificial Acelerado.....	67
6.4.	Formulações das Argamassas	69
6.5.	Metodologia de Cura	70
6.6.	Descrição dos Procedimentos de Ensaio.....	71
6.6.1.	Registo Macroscópico das Alterações Ocorridas na Câmara Climática	71
6.6.2.	Ensaio de Consistência por Espalhamento	71
6.6.3.	Ensaio Módulo de Elasticidade Dinâmico.....	73
6.6.4.	Ensaio de Resistência à Tração por Flexão	74
6.6.5.	Ensaio Profundidade de Carbonatação	75
6.6.6.	Ensaio de Resistência à Compressão.....	76
6.6.7.	Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade.....	77
6.6.8.	Ensaio de Absorção de Água Sob Baixa Pressão	79
6.6.9.	Ensaio de Arrancamento por Tração (<i>Pull-Off</i>)	81
6.7.	Resultados de Ensaio.....	83
6.7.1.	Alterações Ocorridas na Câmara Climática.....	83
6.7.2.	Consistência por Espalhamento.....	89
6.7.3.	Módulo de Elasticidade Dinâmico	89
6.7.4.	Resistência à Tração por Flexão.....	91
6.7.5.	Profundidade de Carbonatação.....	92
6.7.6.	Resistência à Compressão	97
6.7.7.	Absorção de Água por Capilaridade.....	98
6.7.8.	Absorção de Água Sob Baixa Pressão.....	102
6.7.9.	Arrancamento por Tração (<i>Pull-Off</i>).....	103
6.8.	Discussão dos Resultados	105
7.	Conclusões	114
8.	Referências Bibliográficas	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fábrica do Carvalhido no Porto (PORTUGAL, 2012)	5
Figura 2. Fabrica das Devesas (PORTO, 2011)	6
Figura 3. Registo das temperaturas no horizonte temporal de 2007 a 2011 na cidade de Ovar (WUNDERGROUND, 2012).....	11
Figura 4. Médias mensais da humidade relativa em Ovar de 2007 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012).....	13
Figura 5. Médias mensais do ponto de orvalho em Ovar de 2007 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012).....	14
Figura 6. Velocidades do Vento Médias Mensais em Ovar de 2007 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012).....	15
Figura 7. Velocidade do vento segundo as direções em Ovar Maceda de 2007 a 2011 (WEATHER, 2012).....	16
Figura 8. Temperaturas exteriores de projeto de inverno, em Portugal continental, com a probabilidade acumulada de ocorrência de 1 % (SOUSA, 2003)	20
Figura 9. Temperaturas exteriores de projeto de verão em Portugal continental, com a probabilidade acumulada de ocorrência de 1 % (SOUSA, 2003)	20
Figura 10. Formação de gelo em Ovar dia 12 de Janeiro de 2012.....	23
Figura 11. Formação de gelo em Ovar, Rua José Falcão (campo agrícola)	23
Figura 12. Enrolamento característico da camada de vidro	40
Figura 13. Pormenor de enrolamento característico da camada de vidro (MIMOSO, 2011b)	40
Figura 14. Fenda de cozedura associada a falta de vidro (MIMOSO, 2011b).....	41
Figura 15. Poros num azulejo	41
Figura 16. Laminação do vidro	42
Figura 17. Craquelé em azulejo	43
Figura 18. Azulejo com defeito de fabrico apresentado empeno.....	44
Figura 19. Inclusão presente no azulejo (MIMOSO, 2011b).....	44
Figura 20. Ilustração de fachada típica em azulejos e respetiva constituição.....	45
Figura 21. Destacamento e empolamento de azulejos em fachada.....	46
Figura 22. Pormenor de destacamento e empolamento em fachada azulejar	46
Figura 23. Fraturas em azulejos com separação de fragmentos.....	48

Figura 24.	Fracturas de azulejos em fachada azulejar	48
Figura 25.	Esmagamento e lascagem dos bordos de azulejos	48
Figura 26.	Perda de coesão da chacota (MIMOSO, 2011b)	49
Figura 27.	Eflorescências em azulejo	51
Figura 28.	Crescimento de vegetação em fachada azulejar	52
Figura 29.	Enodoamento irreversível	53
Figura 30.	Concreções por dissolução de calcite e conseqüente migração e cristalização à superfície (LUBELLI, 2011)	54
Figura 31.	Concreções à superfície de um muro de tijolo junto de um canal de água (LUBELLI, 2011).....	54
Figura 32.	Cuva granulométrica da areia utilizada.....	58
Figura 33.	Distribuição e tamanho das partículas da Sepiolite.....	59
Figura 34.	Distribuição e tamanho das partículas do Metacaulino.....	59
Figura 35.	Alvenaria de xisto típica em Ovar.....	61
Figura 36.	Esquemas de montagem, 1.º e 2.º passo.....	61
Figura 37.	Esquema de montagem, 3.º passo e vista em corte	62
Figura 38.	Corte circular em azulejo através de máquina de jacto água de corte abrasivo	63
Figura 39.	Corte dos azulejos utilizados no trabalho.....	63
Figura 40.	Corte dos tijolos cerâmicos	63
Figura 41.	Aplicação da cantaria em granito nos três sistemas	63
Figura 42.	Assentamento de um azulejo – réplica.....	64
Figura 43.	Sistema um final com aplicação de quatro azulejos – duas réplicas e dois originais	64
Figura 44.	Sistema vertical com assentamento de azulejos originais.....	64
Figura 45.	Moldes de provetes prismáticos com argamassas frescas.....	64
Figura 46.	Ciclo utilizado para programação da câmara climática do parâmetro temperatura °C.....	66
Figura 47.	Ciclo utilizado para programação da câmara climática do parâmetro de humidade relativa %.....	66
Figura 48.	Câmara de Ensaio Climático ESPEC ARL-680.....	67
Figura 49.	Sistemas (2 réplicas x 2 originais) com argamassa 2.....	68
Figura 50.	Câmara climática com carregamento dos 3 sistemas na prateleira inferior ..	68

Figura 51.	Câmara climática com carregamento dos sistemas da prateleira superior	69
Figura 52.	Pormenor da Câmara climática com carregamento dos sistemas da prateleira superior	69
Figura 53.	Cura de prismas na câmara climática 20 °C e 65 % HR	71
Figura 54.	Cura dos sistemas verticais e horizontais na câmara climática 20 °C e 65 % HR	71
Figura 55.	Descrição do aparelho (EN 1015-3, 1998)	72
Figura 56.	Equipamento utilizado no ensaio de espalhamento.....	73
Figura 57.	Argamassa fresca compactada dentro de molde metálico.....	73
Figura 58.	Equipamento utilizado no ensaio do módulo de elasticidade.....	74
Figura 59.	Provete da argamassa um aos 90 dias sujeito a câmara climática, a ser ensaiado ao módulo de elasticidade.....	74
Figura 60.	Equipamento utilizado no ensaio de resistência à tração por flexão	75
Figura 61.	Provete da argamassa um aos 60 dias, a ser ensaiado à tração por flexão	75
Figura 62.	Ensaio de resistência à compressão	76
Figura 63.	Prismas resultantes do ensaio de resistência à compressão das argamassas sujeitas à câmara climática	76
Figura 64.	Ensaio de absorção por capilaridade das argamassas sujeitos à câmara climática aos 90 dias.....	78
Figura 65.	Secagem das amostras das argamassas sujeitos à câmara climática aos 90 dias	78
Figura 66.	Especificações do tubo de Karsten para ensaio em superfícies horizontais segundo a ficha do procedimento FE PA 40.1.	80
Figura 67.	Ensaio de aplicação dos tubos de Karsten no sistema 2 sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.	80
Figura 68.	Exemplo de junta de zona Z1 onde foi efetuado o ensaio de absorção de água sob baixa pressão, sistema dois	81
Figura 69.	Exemplo de junta de zona Z2 onde foi efetuado o ensaio de absorção de água sob baixa pressão, sistema três	81
Figura 70.	Equipamento utilizado no ensaio de arrancamento por tração	83
Figura 71.	Seção circular do azulejo com pastilha metálica resultante do ensaio de arrancamento por tração no sistema três – azulejo réplica	83

Figura 72. Pormenor do sistema um vertical com réplicas, onde é possível visualizar o destacamento de um azulejo assente com a argamassa um ao oitavo ciclo de envelhecimento.....	84
Figura 73. Pormenor dos provetes de argamassa um após ensaio de envelhecimento...	85
Figura 74. Pormenor dos provetes de argamassa um após ensaio de envelhecimento, vista lateral	85
Figura 75. Pormenor dos provetes de argamassa dois após ensaio de envelhecimento .	85
Figura 76. Pormenor dos provetes de argamassa três após ensaio de envelhecimento ..	85
Figura 77. Pormenor do empolamento detetado no sistema horizontal dois.....	86
Figura 78. Pormenor de destacamento e esmagamento de vidrado ao nível do bordo do azulejo original.....	86
Figura 79. Pormenor de destacamento de vidrado no sistema horizontal um	87
Figura 80. Pormenor de destacamento de vidrado no sistema horizontal três.....	87
Figura 81. Pormenor de craquelé no sistema horizontal dois.....	87
Figura 82. Pormenor dos azulejos de referência, após ensaio de envelhecimento	87
Figura 83. Pormenor da remoção de argamassa de junta no sistema um após ensaio de envelhecimento.....	88
Figura 84. Pormenor da remoção de argamassa de junta no sistema três após ensaio de envelhecimento.....	88
Figura 85. Módulo de elasticidade das argamassas aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.....	90
Figura 86. Resistência à flexão das argamassas aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	91
Figura 87. Carbonatação média das argamassas aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	96
Figura 88. Resistência à compressão das argamassas aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.....	97
Figura 89. Absorção de água por capilaridade e secagem da argamassa um aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.	98
Figura 90. Absorção de água por capilaridade e secagem da argamassa dois aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.	99
Figura 91. Absorção de água por capilaridade e secagem da argamassa três aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.	100

Figura 92. Coeficiente de capilaridade por contacto das argamassas aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.....	101
Figura 93. Absorção de água sob baixa pressão para as argamassas um, dois e três nas respetivas zonas Z1 e X2	102
Figura 94. Tensão de aderência nos sistemas horizontais para azulejos originais e réplicas	103
Figura 95. Arrancamento por tração no sistema vertical – argamassa um com azulejo original	104
Figura 96. Arrancamento por tração no sistema vertical – argamassa três com azulejo réplica	104
Figura 97. Tensão de aderência nos sistemas verticais para azulejos originais e réplicas..	105
Figura 98. Resistência à tração por flexão e módulo de elasticidade aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	106
Figura 99. Profundidade de carbonatação e módulo de elasticidade aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.....	107
Figura 100. Resistência à tração por flexão e resistência à compressão aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	108
Figura 101. Resistência à tração por flexão e profundidade de carbonatação aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	109
Figura 102. Coeficiente de capilaridade e absorção de água sob baixa pressão aos 90 dias câmara climática.....	110
Figura 103. Arrancamento por tração e profundidade de carbonatação aos 90 dias câmara climática com azulejos originais e réplicas.....	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Médias das temperaturas máximas, médias e mínimas em Ovar do período de 1996 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012)	12
Tabela 2.	Médias humidade relativa, médias e mínimas em Aveiro do período de 1931 a 1960 e de Ovar de 2007 a 2011 (VENTURA, 2012, WUNDERGROUND, 2012).....	14
Tabela 3.	Médias da velocidade do vento média em Ovar de 1996 a 2011(WUNDERGROUND, 2012).....	16
Tabela 4.	Valores médios da qualidade do ar da estação de Espinho (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2012).....	17
Tabela 5.	Valores do coeficiente de dilatação térmica linear (A.F.E.D.E.S, 1980, SOUSA, 2003).....	21
Tabela 6.	Valores do coeficiente de absorção da radiação solar (SOUSA, 2003)	21
Tabela 7.	Valores de expansão de ladrilhos cerâmicos com a humidade (SOUSA, 2003)	24
Tabela 8.	Massa volúmica matérias-primas (TEIXEIRA, 2008, UNIVERSIDADE DE AVEIRO, 2012, VALENTE, 2008)	60
Tabela 9.	Requisitos mecânicos e de comportamento face à água para argamassas de edifícios antigos aos 90 dias de maturação (VEIGA, 2010)	69
Tabela 10.	Formulações das argamassas utilizadas nos ensaios	70
Tabela 11.	Quantidade de água utilizada.....	89
Tabela 12.	Carbonatação da argamassa um aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	93
Tabela 13.	Carbonatação da argamassa dois aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	94
Tabela 14.	Carbonatação da argamassa três aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática	95
Tabela 15.	Coeficiente de capilaridade por contacto da argamassa um aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática. Coeficiente do granito utilizado nos sistemas.	99
Tabela 16.	Coeficiente de capilaridade por contacto da argamassa dois aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.	99
Tabela 17.	Coeficiente de capilaridade por contacto da argamassa três aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.	100

Tabela 18. Tabela de apoio à discussão dos resultados obtidos..... 112

ABREVIATURAS

N	Newton
KN	Quilonewton
Pa	Pascal
KPa	Quilopascal
MPa	Megapascal
%	Porcentagem
°C	Grau
g	Grama
h	Hora
min	Minuto
s	Segundos
min^{1/2}	Raiz do minuto
Kg	Quilograma
Km²	Quilómetro quadrado
Km/h	Quilómetro por hora
mg	Miligramma
m	Metro
m²	Metro quadrado
mm	Milímetro
cm	Centímetro
cm³	Centímetro cúbico
Δt	Varição da temperatura
α	Coefficiente de dilatação térmica linear
μ	Micro
HR	Humidade relativa
Csa	Clima temperado húmido com Verão seco e quente
Csb	Clima temperado húmido com Verão seco e temperado
pH	Potencial hidrogénio
Hz	Frequência (hertz)

E	Módulo de elasticidade
R_f	Resistência à tração por flexão
R_c	Resistência à compressão
C_{cc}	Coefficiente de capilaridade por contacto

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do estudo de argamassas que estão a ser desenvolvidas no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e enquadrado especificamente nos projetos de investigação "AZULEJAR - Conservation of glazed ceramic tile façades" (PTDC/ECM/101000/2008) e no Projeto de valorização empresarial do azulejo tradicional de Ovar (PRU-16), o presente trabalho versa sobre o comportamento de argamassas de reparação para edifícios antigos com acabamento em azulejo.

Este estudo tem como referência a realidade da cidade de Ovar quer em termos de tipologias construtivas quer de azulejos aplicados, peças originais (azulejos de finais do século XIX, princípios do século XX) e reproduções utilizadas nas intervenções de conservação e restauro atuais, bem como as condições climáticas aí verificadas. Pretende-se estudar o comportamento de três formulações de argamassas às condições ambientais de Ovar, especificamente aos fatores higrotérmicos, pelo que se recorreu a uma câmara climática, variando a temperatura e a humidade relativa ao longo do tempo de forma a recriar ao máximo os fatores de degradação.

Pretende-se usar três tipos de argamassas à base de cal hidratada sem ou com aditivos: metacaulino; metacaulino e sepiolite; e não aditivada. Os traços usados serão de 1:3 (ligante e agregados), em que os aditivos são subtraídos à fração do ligante.

De forma a recriar a realidade construtiva será desenvolvido um sistema inovador com o objetivo de avaliar o impacto climatérico no sistema de argamassa com acabamento em azulejo devidamente confinado. Este sistema é composto por: betão (suporte base) e tijolo, argamassa de assentamento e dois azulejos originais e duas réplicas (acabamento). A confinar este sistema será aplicado uma cantoneira de granito de forma a confinar o revestimento e recriar a tipologia construtiva – alvenaria de xisto com vãos contornados a cantaria de granito. Como elementos de referências serão usados dois tijolos aplicados na vertical com três azulejos originais e três réplicas e, ainda sujeitos à câmara climática, provetes prismáticos e dois azulejos isolados. Todas as peças (sistemas, tijolos e prismas) terão uma cura de 28 dias, sendo que se conduzirão os elementos posteriormente para a câmara climática. A câmara estará programada para realizar dezoito ciclos correspondentes ao “verão”, e igual valor para o ciclo de “inverno”, alternadamente. O tempo total de instância na câmara será de cinco semanas.

Pretende-se, durante o ensaio registar todas as anomalias verificadas macroscopicamente. Serão avaliados o arrancamento por tração (*Pull-Off*) nos sistemas e ocorrerá ainda o ensaio de absorção de água sob baixa pressão nos mesmos. No caso dos provetes de argamassa será efetuada a caracterização e comparação dos elementos que passaram pela câmara de envelhecimento com prismas de referência com idades de 28, 60, 90 e 120 dias através dos seguintes ensaios: módulo de elasticidade, resistência à tração por flexão, profundidade de carbonatação, resistência à compressão, absorção de água por capilaridade.

É objetivo principal do trabalho avaliar o comportamento de três formulações face a dois dos principais agentes de alteração das argamassas de assentamento de azulejo antigo – temperatura e humidade – de forma a avaliar o emprego destas formulações nas ações de conservação e restauro nas fachadas tradicionais de Ovar. Complementarmente pretende-se estudar o enquadramento histórico ao uso de azulejo em Portugal e fazer o levantamento das anomalias mais frequentes na azulejaria de fachada, quer associadas ao edifício, argamassa de assentamento e no azulejo propriamente dito.

2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A azulejaria do século XIX teve o seu apogeu com a implementação dos processos industrializados, permitindo assim dar resposta às solicitações por parte da burguesia liberal, classe que teve um rápido crescimento devido às grandes transformações sociais e políticas ocorridas durante a primeira metade do século. Até ao século XVIII o azulejo era utilizado pela aristocracia e pelo clero com fins grandiosos e de demarcação social e era um produto único, inversamente, no século XIX foi utilizado como produto que revestia fachadas ou servia simplesmente como acabamentos finais das entradas e fachadas de edifícios (AMORIM, 1996, MECO, 1989).

Durante o século XVIII, a comunidade brasileira começou a utilizar o azulejo para revestimento das fachadas dos edifícios. Na realidade, existe uma controvérsia, entre os vários estudos efetuados em relação a essa produção ou mudança do uso do azulejo em fachadas. Segundo Santos Simões (SIMÕES, 1974), historiador português, assegura categoricamente que essa é uma criação brasileira, enquanto os especialistas brasileiros, nomeadamente, Dora Alcântara e Mário Barata (ARRUDA, 1988) e a portuguesa Ana Portela (DOMINGUES, 2009) imputam tal invenção a Portugal.

Além de embelezar as fachadas que era a principal função, o azulejo tinha uma função utilitária: proteção contra a humidade, característica específica do clima tropical brasileiro, agravado nas cidades litorais ou dispostas nas margens de rios. Devido à elevada salinidade, o azulejo “impermeabilizava” e isolava os exteriores, garantindo uma conservação mais duradoura (BARDI, 1980, CALVALCANTI, 2002).

A industrialização teve como efeito o afastamento do ensino artístico e dos métodos decorativos tradicionais, ocasionando a escassez de mão-de-obra especializada da pintura artística dos azulejos e o aumento do respetivo preço, o que contribuiu para o abandono parcial das encomendas tradicionais, forçando assim o consumo das produções industrializadas disponíveis e a proliferar no mercado (MECO, 1989, VELOSO, 1991).

Com esta fase temeu-se a extinção do azulejo artístico, substituído por um azulejo industrial e sem qualidade, o que se trata de uma ideia elitista e errónea uma vez que os cerâmicos continuaram a ser introduzidos na arquitetura com o mesmo rigor e idoneidade de transformação que tiveram nas fases anteriores, embora mais simplificado e utilizado essencialmente em fachadas (ARRUDA, 1988, MECO, 1989).

O início da produção seriada foi caracterizado por sistemas rudimentares, próprios de uma fase semi-industrializada recorrendo a métodos de repetição manuais em que a estampilha foi a técnica dominante nos azulejos planos, nos elementos relevados sobressaem duas tipologias dominantes, ao azulejo de meio-relevo e o relevado, o primeiro mais característico em Lisboa e o segundo na cidade do Porto (MECO, 1989).

Os conjuntos de azulejos utilizados mantiveram as características mais vincadas da utilização em Portugal, ou seja, a monumentalidade dos revestimentos e a cuidada integração arquitetónica. Esta preocupação revelou-se especialmente na maneira de contornar portas, janelas e os limites dos revestimentos com cercaduras e frisos, adaptando-se rigorosamente às formas que absorvem e interligam (CALVALCANTI, 2002, MECO, 1985).

Santos Simões comentou que «o azulejo da época romântica é o que tinha que ser: mecanizado e utilitário, burguês e medíocre, barato e pretensioso...», embora acrescentando que «assim mesmo ficámos a dever aos criadores do azulejo de fachada uma nova expressão na fisionomia das nossas cidades fisionomia que perdura, malgrado os desesperados esforços para a fazer desaparecer» (SIMÕES, 1974).

No início da aplicação dos azulejos nas fachadas, foram considerados como medíocres e decadentes. Progressivamente verifica-se a eficácia da sua integração na arquitetura, uma variedade espantosa e são, pelo contrário, um eminente contributo de transfiguração e enriquecimento do espaço urbano, com exibição em muitos quilómetros das cidades nacionais como Lisboa, Porto e Ovar. A somar, há outros elementos cerâmicos que coabitam com o azulejo, muitas vezes em associação como balaustradas, estátuas, pinhas, vasos, bustos e outros elementos de faiança, realizados sobretudo nas fábricas do Porto (MECO, 1984, 1989).

2.1. Fábricas do Século XIX

Ultrapassadas as perturbações económico-sociais, o azulejo conhece um surto de revitalização, em boa prática devido ao acordo entre Portugal e Brasil (1834), comprando os brasileiros, preferencialmente a Portugal, azulejos para fins utilitários e decorativos. A clientela crescente do Brasil e a burguesia que renasce em Portugal, incluído os emigrantes enriquecidos que retornam a Portugal, “os brasileiros” ou “torna viagem” como eram denominados, contribuíram para a recuperação e modernização do sector cerâmico.

Desenvolve-se assim uma produção semi-industrial e industrial, com equipamentos técnicos de repetição seriada. Rejuvenesce a azulejaria tradicional de “padronagem”, que passa a revestir fachadas de edifícios civis em todo o país, dado os custos módicos da produção e o carácter ornamental e utilitário dos azulejos de padrão (CORDEIRO, 1996).

Ao longo do século XIX, renovam-se e multiplicam-se as fábricas de cerâmica com a produção de azulejos, nomeadamente, em Lisboa a fábrica da Constância fundada em 1836, Miguel Gomes Correia em 1847, Sacavém em 1850, Lamego, e depois Viúva de Lamego em 1849, com início de produção 1863, Santana em 1860, Desterro em 1889, mantendo-se abertas as da Calçada do Monte fundada em 1793 e da Roseira em 1796 (CORDEIRO, 1996, DOMINGUES, 2004).

No núcleo do Porto e Gaia, foi fundada em 1840 a fábrica do Carvalhido (Figura 1), Devesas em 1865 (Figura 2), mantendo-se em laboração fábricas mais antigas como Massarelos fundada em 1766, Miragaia em 1775, que foram reativadas em 1830 – 1840. A produção em Aveiro inicia-se posteriormente em 1882 com a fábrica Fonte Nova, à qual sucede a Fábrica Aleluia (CORDEIRO, 1996, DOMINGUES, 2004).



Figura 1. Fábrica do Carvalhido no Porto (PORTUGAL, 2012)

Lisboa, Porto, Gaia e Aveiro constituíram os núcleos principais de faiança e do azulejo nacional, com destaque para os dois primeiros centros (MARQUES, 2001).



Figura 2. Fabrica das Devesas (PORTO, 2011)

Em Portugal, os azulejos assumiram uma especial importância no contexto universal da criação artística, pela longevidade do seu uso, sem interrupção durante cinco séculos, pelo modo de aplicação essencialmente no século XIX como elemento que individualiza as arquiteturas através de grandes revestimentos de fachadas exteriores e pelo modo como foi entendido e interpretado ao longo dos séculos, não só como arte decorativa mas também como suporte de renovação do gosto e do registo do imaginário, percorrendo assim estilos e linguagens de todos os tempos (CORDEIRO, 1996, DOMINGUES, 2004, FERREIRA, 2009, SIMÕES, 1974).

2.2. Azulejos Fabricados no Século XIX

2.2.1. Azulejo Relevado e Estampilha

Durante o século XIX os dois principais núcleos de produção do azulejo em Portugal foram Lisboa e Porto – Gaia. Outros países produziram grande quantidade de azulejos como Inglaterra, França, Holanda, Alemanha e Espanha, mas inversamente a Portugal, estes centros produziam peças para interiores. A produção de padrões para exterior pelas fábricas lusas foi intensa respondendo à procura crescente e esta produção era competitiva em mercados liberalizados nomeadamente no brasileiro. A introdução de meios mecânicos, sejam acionados pela máquina a vapor ou pela força humana, estabelecia um processo mais económico, mas esta estava reservada à conformação do corpo cerâmico. A estampilha,

enquanto processo para aplicar a decoração por meio de máscaras, implicava o trabalho manual mas dispensava estudos ou destreza para o desenho e permitia aplicar a decoração de forma rápida e tinha custos reduzidos.

Na zona do Porto, desenvolve-se padronagens relevadas, desenvolvendo duas vertentes dos mesmos, os azulejos de “alto-relevo” moldados manualmente e também em prensas, e os azulejos de “meio-relevo” (inicialmente produzidos pelas fábricas de Lisboa para competirem com as do Porto) já prensados mecanicamente, sendo produzidos em barro amarelo característico da zona portuense contrapõe-se com o pó-de-pedra utilizado em Lisboa devido a influências inglesas, sendo produzidas pelo método de estampilhagem (MECO, 1985, 1989).

2.2.2. Padronagem de Estampilha

A produção do azulejo de estampilha inicia-se na fase semi-industrializada da segunda metade do século XIX, competindo com a produção portuense de alto-relevo moldada manualmente. A mesma caracteriza-se pela colocação sobre o papel recortado e encerrado que se coloca na superfície de cada ladrilho, realizando-se a pintura manual do mesmo com trincha ou pincel, com a intensão de o contraste cromático dar volumetria, em alguns casos, criando por vezes as chamadas “imperfeições da pintura” devido aos vestígios das pinceladas nos ornatos ou do alastramento pontual da tinta nos seus contornos, permitindo assim distinguir a técnica da estampilhagem manual dos padrões semelhantes reproduzidos mecanicamente.

Outra técnica era usual na época é a estampagem. Só com uma observação atenta é possível avaliar estas produções, pois estas peças eram produzidas através de técnicas mais arcaicas, nunca devendo ser confundidas com as produções efetuadas pelo processo de estampagem mecânica, produzidas já no final do século XIX e em pleno século XX (MECO, 1985, 1989).

2.2.3. Padronagem de Relevo

Estes azulejos caracterizavam-se pelo seu volume ser muito expressivo, sendo o padrão mais comum apresentar um motivo central floral e ter uma moldura folhagem também em relevo. É frequente afirmar que foi a Fábrica de Massarelos que iniciou a sua produção nos

meados do século XIX mas desconhece-se fontes fidedignas que sustentem esta afirmação. Os mesmos eram produzidos através de formas que eram enchidas com argilas gordas, sendo trabalhadas manualmente por pressão digital, sendo as partes mais salientes do relevo desgrossadas, escavando o barro na parte de trás dos mesmos (tardoz) para atenuar a tendência à fissuração durante o processo de secagem e de cozedura. A face nobre era totalmente esmaltada de branco e os volumes eram normalmente pintados a uma cor, para além da cor de base (MECO, 1985, 1989).

2.2.4. Padronagem de Meio – Relevo

Nos azulejos de “meio-relevo” já não eram usadas as formas enchidas manualmente, mas sim um processo de prensagem mecânica, levando a que os mesmos fossem muito mais finos. A argila era prensada entre um molde e um contramolde, que ao ser comprimida, gerava o volume pretendido.

Iniciava-se assim o processo industrial de produção seriada de azulejo, sendo que, em relação há produção dos azulejos manuais perdia alguma força decorativa devido a serem menos expressivos e com escala demasiada reduzida, sendo por vezes diminuídos em função da combinação cromática (MECO, 1984, 1989).

2.2.5. Azulejaria Romântica

Com a produção seriada do século XIX, manifestaram-se diversas revelações individuais, relacionadas com o movimento romântico e o seu afinco a motivos artístico, cuja sua divulgação deveu-se muito a construção do Palácio da Pena em Sintra. “Ferreira das Tabuletas”, assim ficou conhecido, por ter criado as peças figurativas mais interessantes da época, que de uma forma ingénua mas com grande esplendor produziu obras que desenvolveram o gosto pelo romantismo português (MECO, 1984, 1989).

3. CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS E ATMOSFÉRICAS

3.1. Condições Climatéricas e Atmosféricas em Portugal Continental

Portugal continental localiza-se no extremo sudoeste da Europa, fazendo fronteira com a Espanha a norte e leste do país e pelo oceano Atlântico a sul e oeste. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Portugal continental têm um clima mediterrânico, detalhadamente, Csa (clima temperado húmido com Verão seco e quente) no sul e a norte Csb (clima temperado húmido com Verão seco e temperado). A temperatura média anual varia entre os 13 °C no interior norte montanhoso até 18 °C no sul, na bacia do Guadiana (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2012, WIKIPÉDIA, 2011).

As estações de Outono e Inverno são normalmente chuvosas, frescas e ventosas, tendo temperaturas mais baixas nos distritos do norte e centro do país, onde podem atingir-se temperaturas negativas durante alguns dias dos meses. Durante a Primavera e Verão, as temperaturas são amenas no centro, na região litoral e nas terras altas do norte do país, sendo que a sul as temperaturas são regularmente mais elevadas (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2012, WIKIPÉDIA, 2011).

O País tem aproximadamente 2500 a 3000 horas de sol por ano, tendo uma média de 10 a 12 horas no Verão e de 4 a 6 horas no Inverno. Relativamente às médias de precipitação anual, as mesmas variam entre os 3000 mm nas zonas a norte e de menos de 600 mm a sul do Alentejo. Apesar destes fatores, em Portugal, podem existir grandes amplitudes térmicas, sendo que o maior valor da temperatura máxima do ar foi de 50,5 °C registada em São João da Pesqueira no ano de 1981, opostamente ao valor mais baixo registado que foi de -17,5 °C na cidade de Bragança. Normalmente distritos da Guarda, Bragança e Vila Real ocorrem nevões com alguma frequência, registando-se diversas vezes temperaturas inferiores a -10 °C, contrariamente à região sul onde praticamente são inexistentes (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2012, RODRIGUES, 2004).

3.2. Condições Climatéricas e Atmosféricas de Ovar

A cidade focada no presente estudo é Ovar. A mesma localiza-se no distrito de Aveiro, na região centro do País. Tem uma área de 147,52 km² e possui 55.377 habitantes distribuídas por oito freguesias, tendo uma densidade populacional de 375 habitantes/km². Uma das

características deste município é estar limitada a oeste pelo Oceano Atlântico que banha o município por sensivelmente 15 Km. A norte é limitado pelo município de Espinho, a nordeste pelo de Santa Maria da Feira e a leste por Oliveira de Azeméis (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2012). Apesar da grande influência do Oceano Atlântico, existem também diversos cursos de água superficiais distribuídos pelo município. O mesmo é dotado de várias redes de estradas, tendo um tráfego urbano considerável, possuindo pouco espaços verdes no centro opostamente aos subúrbios onde são muito significativos (CÂMARA MUNICIPAL DE OVAR, 2012, INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2012).

Os edifícios e respetivas fachadas estão sujeitas a diversas condições climatéricas e atmosféricas que influenciam diretamente o seu comportamento, estado e durabilidade dos materiais expostos aos mesmos. A temperatura, humidade relativa, precipitação, ponto orvalho, partículas, poluentes atmosféricos, orientação e velocidade do vento são os principais parâmetros abordados neste trabalho, uma vez que são os agentes atmosféricos que maior influência tem no comportamento dos materiais.

Relativamente aos dados da temperatura, humidade relativa, ponto orvalho e velocidade do vento, os mesmos foram obtidos numa estação meteorologia presente no centro da cidade de Ovar, freguesia de São Miguel. É uma estação não pertencente à rede do Instituto de Meteorologia, mas pretende-se obter informações mais próxima possível da realidade estudada, devido a sua localização privilegiada: 40.859038,-8.615856, com 18 m de altitude e dista aproximadamente 5 km do Oceano Atlântico (WUNDERGROUND, 2012).

Relativamente aos dados de precipitação e orientação dos ventos, os dados recolhidos foram obtidos na estação de Ovar-Maceda, 40.941008,-8.611736, com uma altitude de 22m, uma vez que é a estação que se encontra mais perto do local de estudo (WEATHER, 2012).

Em relação à qualidade do ar, existem duas estações próximas para recolha de dados, a estação de Espinho está a 15 km de Ovar e a de Estarreja está a 12 km. Após a consulta da direção dos ventos predominantes foi opção eleger os valores referentes à estação de Espinho por esta ter uma maior influência e impacto sobre a cidade de Ovar (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2012).

Os dados recolhidos para o estudo em causa, são referentes aos últimos cinco anos, ou seja, de 2007 a 2011, tendo sido posteriormente realizada uma comparação dos mesmos com os dados disponíveis das últimas décadas.

3.2.1. Temperatura

Foram recolhidos os dados das temperaturas em Ovar nos últimos cinco anos (WUNDERGROUND, 2012) e realizadas as médias das temperaturas máximas, mínimas e médias, para cada mês do ano. Foram também identificados os maiores e menores valores absolutos das temperaturas máxima e mínima, por mês. Apresenta-se de seguida (Figura 3) os valores referentes aos mesmos:

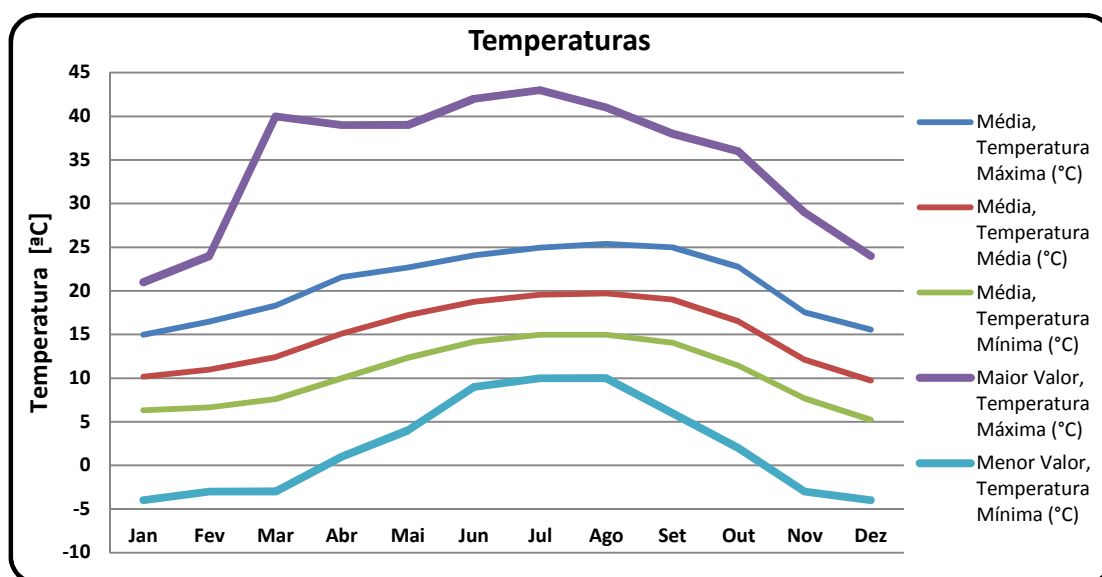


Figura 3. Registo das temperaturas no horizonte temporal de 2007 a 2011 na cidade de Ovar (WUNDERGROUND, 2012)

Verifica-se através da Figura 3 apresentada que as temperaturas médias em Ovar variam entre os 10 °C e os 20 °C, sendo que as médias da temperatura máxima e mínima variam em relação à média da temperatura média com valores da ordem ascendente e descendentes de 5 °C, respetivamente. Relativamente à temperatura máxima absoluta registada, cifrou-se em 43° C nos meses de verão, opostamente, o mínimo verificado foi de - 4 °C durante os meses de inverno. Consta-se que existem grandes amplitudes térmicas anuais, que podem atingir os 43 °C, sendo que os meses mais propícios para a sua ocorrência sejam março e abril. De referir que as temperaturas desde 2008 têm aumentado significativamente e que em 2010 foi registada a temperatura máxima dos últimos cinco

anos, sendo que as temperaturas mínimas, registam valores idênticos para o mesmo período, na ordem dos -3 °C negativos.

Para uma compreensão mais detalhada da evolução da temperatura em Ovar, foram consultados os dados dos últimos 15 anos (Tabela 1), ou seja, de 1996 a 2011, sendo que anteriormente não existem registos na cidade, para datas mais recuadas socorreu-se dos dados da estação de Aveiro.

Tabela 1. Médias das temperaturas máximas, médias e mínimas em Ovar do período de 1996 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012)

Temperaturas	Local / Estação	Período	Valor
Média, Temperatura Máxima (°C)	Ovar / São Miguel	2007/2011	20,77
	Ovar / Maceda	1996/2006	19,20
Média, Temperatura Média (°C)	Ovar / São Miguel	2007/2011	15,10
	Ovar / Maceda	1996/2006	14,70
Média, Temperatura Mínima (°C)	Ovar / São Miguel	2007/2011	10,44
	Ovar / Maceda	1996/2006	10,10

Através do cruzamento dos dados, verifica-se que nos últimos quinze anos existe um aumento da temperatura em todas as vertentes, sendo que os valores são aproximadamente constantes com o aumento médio de 1 °C. Estes valores referentes aos últimos 15 anos, em comparação com os dados fornecidos pela estação de Aveiro, localizada a cerca de 30 Km, onde existem registos de 1931-1960 e de 1980-2000, vão de encontro ao aumento que verificamos na cidade de Ovar, pois nas últimas décadas verifica-se o aumento da temperatura na ordem dos 3 °C. Relativamente às temperaturas mínimas, as mesmas continuam com médias idênticas, mas para valores absolutos as mesmas registam um aumento de 2 °C (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2012, VENTURA, 2012).

Em suma, certifica-se através dos dados analisados que as temperaturas nas últimas décadas têm aumentado, sendo que as temperaturas negativas apesarem de terem médias idênticas, levam a um aumento gradual das amplitudes térmicas.

3.2.2. Humidade

Outros dos dados recolhidos foram a humidade relativa em Ovar dos últimos cinco anos, foram recolhidos os dados e realizadas as médias da humidade relativas máximas, mínimas e médias, para cada mês do ano (WUNDERGROUND, 2012).

Foram identificados os maiores e os menores valores da humidade relativa por mês neste mesmo período. Apresenta-se de seguida, Figura 4, à humidade relativa em Ovar de 2007 a 2011.

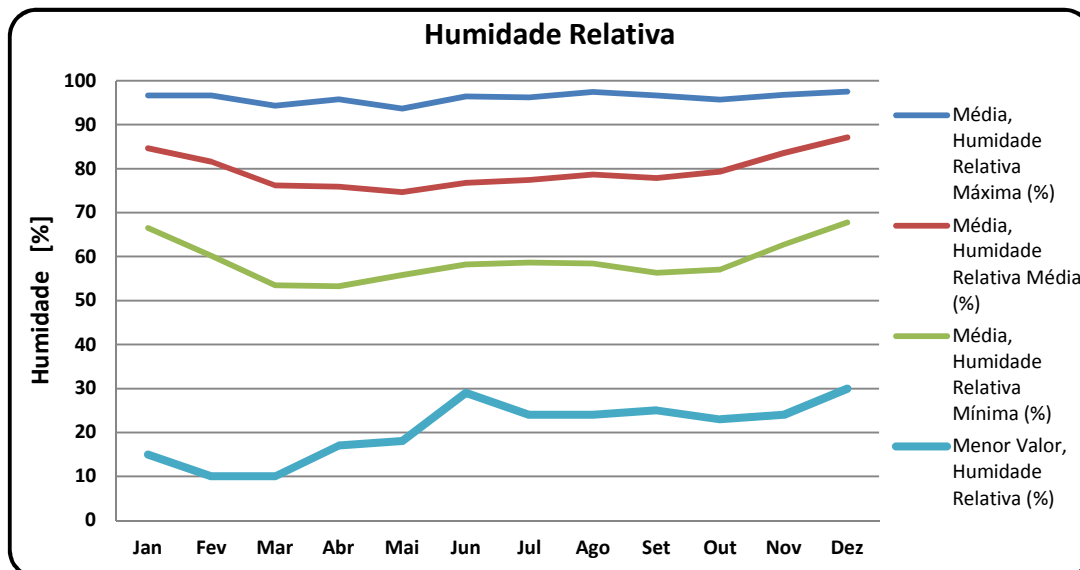


Figura 4. Médias mensais da humidade relativa em Ovar de 2007 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012)

Através da Figura 4 apresentada, constata-se que a média da humidade relativa (HR) sentida em Ovar varia entre 74 % e os 87 %, sendo que as médias da HR máxima e mínima variam em relação a esta aproximadamente, em ± 15 % respetivamente.

Os maiores valores absolutos que a humidade relativa atinge encontram-se sempre na ordem dos 100 %, sendo que para os valores de menor humidade relativa verificados foram de 10 % em casos extremos e por períodos curtos. Contudo, na maioria das situações, existem amplitudes da humidade relativa, com valores de aproximadamente 75 % a 80 %, sendo a sua ocorrência propícia no inverno, devido às temperaturas mais baixas. De referir que a humidade relativa neste período, de 2007 a 2011, comparativamente a Aveiro, tem registos aproximadamente idênticos. Os valores máximos atingem sempre os 100 %, enquanto os valores mínimos foram registados no ano de 2008, na ordem dos 10 %.

Tabela 2. Médias humidade relativa, médias e mínimas em Aveiro do período de 1931 a 1960 e de Ovar de 2007 a 2011 (VENTURA, 2012, WUNDERGROUND, 2012)

Humidade Relativa	Local / Estação	Período	Valor
Média, Humidade Relativa Média (%)	Ovar / São Miguel	2007/2011	79,47
	Aveiro/ Aveiro	1931/1960	85,00

Podemos desta forma concluir (Tabela 2) (apesar do intervalo onde não existe valores apresentados) que existe uma tendência para a diminuição da média da humidade relativa média na ordem dos 5 %, tendo como principal fator o aumento das temperaturas que a influenciam a HR, provocando a sua diminuição.

3.2.3. Ponto Orvalho

Para ao ponto de orvalho foram igualmente recolhidos os dados e efetuadas as médias, os máximos e mínimos, para cada mês dos últimos cinco anos (WUNDERGROUND, 2012). Apresenta-se de seguida, Figura 5, os referidos dados:

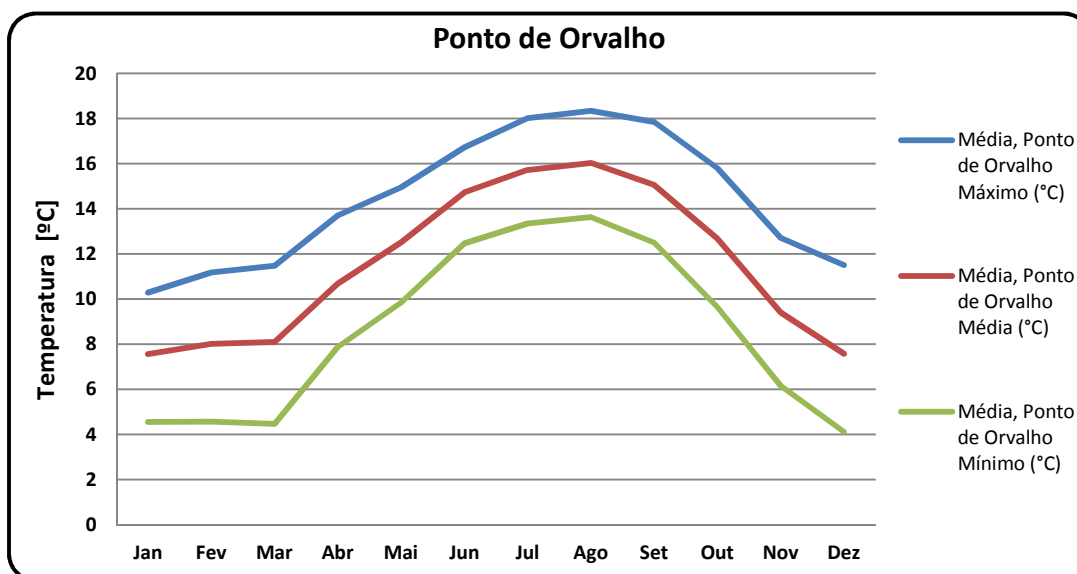


Figura 5. Médias mensais do ponto de orvalho em Ovar de 2007 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012)

A média do ponto de orvalho em Ovar varia entre os 8 °C e os 16 °C, e os valores máximos e mínimos médios variam em relação a esta entre os 3 °C e -3 °C, respetivamente.

Constata-se que existem amplitudes do ponto de orvalho que pode atingir os 14 °C. Contudo os dados mais importantes são a preponderância da sua ocorrência e esta concentra-se principalmente nas estações de Outono e Inverno.

3.2.4. Velocidade do Vento

Em relação às velocidades do vento nos últimos cinco anos, em Ovar, foram recolhidos os respetivos dados e realizadas as médias das velocidades do vento máximas e médias para cada mês do ano (WUNDERGROUND, 2012). Calcularam-se também as médias e maiores valores da velocidade do vento máximo sustentado¹, por mês ocorridos nesse período. Expressa-se de seguida, Figura 6, os dados referentes aos mesmos:

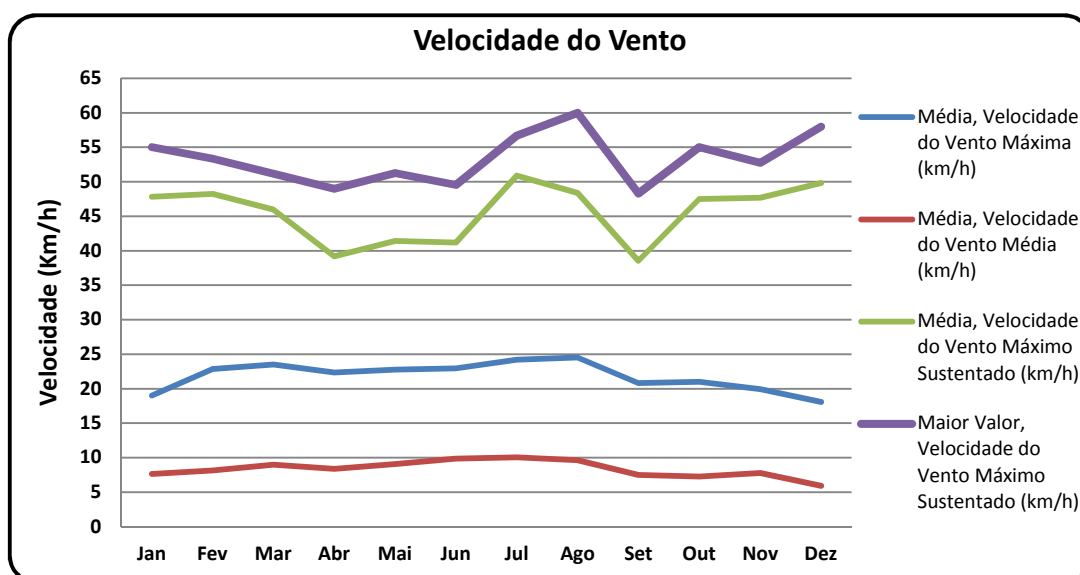


Figura 6. Velocidades do Vento Médias Mensais em Ovar de 2007 a 2011 (WUNDERGROUND, 2012)

Conclui-se através dos dados da figura anterior (Figura 6), que a médias da velocidade do vento sentidas em Ovar variam entre os 5 km/h e os 10 Km/h. As médias das velocidades do vento máximas atingem valores na ordem dos 22 Km/h. Para as velocidades do vento máximo sustentado, as médias variam entre os 40 Km/h e os 50 Km/h, podendo os valores máximos dos mesmos, atingir os 60 Km/h.

¹ Estes ventos são medidos obtendo-se a velocidade de vento média num intervalo de tempo fixo. Os ventos máximos sustentados são os maiores valores da média da velocidade do vento neste intervalo de tempo. O intervalo de tempo geralmente varia entre 1 e 10 minutos.

Desta forma existe uma variação dos ventos sentidos no centro de Ovar que podem variar entre os 10 Km/h e os 60 km/h. De referir que a velocidade do vento ocorrido nos últimos cinco anos, matem-se praticamente constantes, somente de registrar que nos últimos dois anos, existe uma ligeira diminuição das médias das velocidades do vento médio.

Conclui-se que as médias das velocidades do vento nos últimos 15 anos (Tabela 3) mantem-se praticamente constantes, tendo uma ligeira descida insignificante na ordem dos 3 km/h.

Tabela 3. Médias da velocidade do vento média em Ovar de 1996 a 2011(WUNDERGROUND, 2012)

Velocidade do Vento	Local / Estação	Período	Valor
Média, Velocidade do Vento Média (Km/h)	Ovar / São Miguel	2007/2011	8,37
	Ovar / Maceda	1996/2006	12,10

Após pesquisa das velocidades dos ventos segundo a sua direção, apuramos que os ventos sentidos em Ovar são predominantes do quadrante Norte (39 %) (Figura 7), deste modo foi opção recolher os dados relativos a estação de espinho (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2012), sendo que tem um impacto muito grande e significativo sobre a cidade de Ovar. Apresenta-se de seguida as direções do vento sentidas em Ovar/Maceda nos últimos cinco anos (WEATHER, 2012):

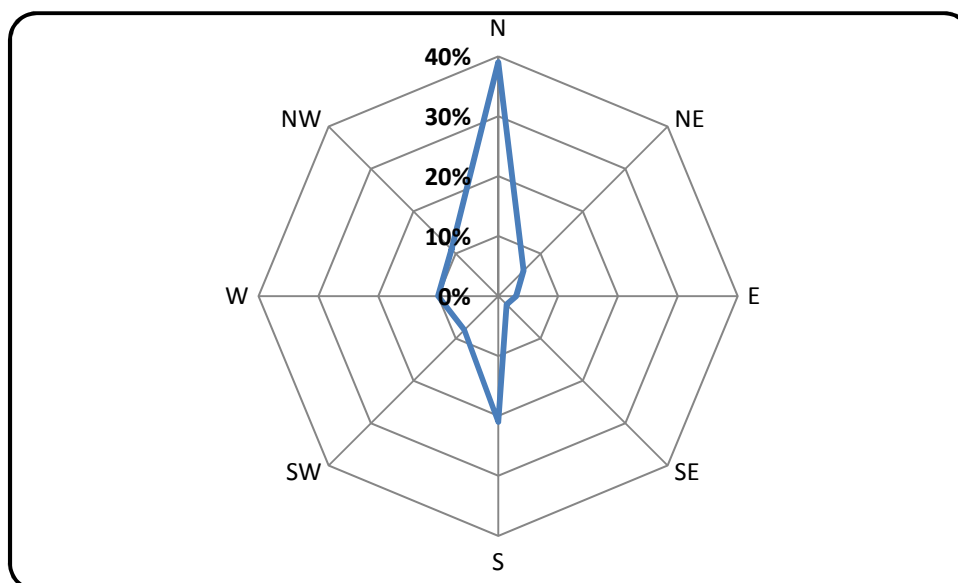


Figura 7. Velocidade do vento segundo as direções em Ovar Maceda de 2007 a 2011 (WEATHER, 2012)

3.2.5. Qualidade do Ar

Relativamente a qualidade do ar na cidade de Ovar, as duas estações mais próximas localizam-se em Espinho (Av.24 - Espinho) e em Estarreja / Teixugueira. Conforme referido no ponto anterior, os ventos sentidos em Ovar são predominantes do quadrante Norte (39 %) (Figura 7), deste forma foi escolhida a recolher os dados relativos a estação de Espinho (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2012), visto ser a que tem um maior impacto significativo sobre a cidade.

Na estação de Espinho (Av.24 - Espinho), existem registos desde 2002 até ao ano de 2009, encontrando-se neste momento desativada. Apresenta-se de seguida (Tabela 4) os poluentes que foram medidos na estação em causa, média e valores limites dos mesmos, para o período referido.

Tabela 4. Valores médios da qualidade do ar da estação de Espinho (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2012)

Poluente	Período	Valores Limites ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	2002/2009	≤ 20	2,1
Dióxido de Azoto (NO ₂)	2002/2009	≤ 40	28,1
Monóxido de Carbono (CO)	2002/2009	≤ 10000	490,2
Partículas < 10 μm (PM ₁₀)	2002/2009	≤ 40	45,7
Ozono (O ₃)	2002/2005	≤ 40	41,3

A estação de Espinho localiza-se num ambiente mais urbano e rodoviário, com forte influência de tráfego rodoviário, sendo que as características apesar de idênticas às de Ovar, a mesma têm um carácter mais rural. Em relação aos dados apresentados da estação de Espinho e que abrangem a qualidade do ar na cidade de Ovar, é possível fazer uma correlação entre ambas. Podemos verificar que todos os poluentes encontram-se dentro dos limites legais propostos, a exceção das Partículas <10 μm e do Ozono (O₃) que ultrapassam ligeiramente os mesmos (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2012).

4. FORMAS, FATORES E AGENTES DE DEGRADAÇÃO

Os edifícios que contemplam revestimentos de fachadas em azulejaria estão sujeitos a diversos fatores de degradação. Diversas vezes os azulejos estão sujeitos não a um agente de alteração mas à conjugação de vários agentes de forma concomitante na mesma fachada. De seguida, apresenta-se as formas, fatores e agentes de degradação mais importantes e ativos: temperatura, humidade, sais, ar, agentes biológicos, fatores humanos, catástrofes naturais e poluentes.

4.1. Temperatura

A temperatura é um dos primordiais fatores de degradação que atuam nas fachadas, através do resultado direto da radiação eletromagnética transmitida pelo sol. A mesma pode incidir sobre as fachadas através de temperaturas positivas ou negativas, dependentemente da altura do dia, diurno ou noturno, e das estações do ano. É habitual existirem temperaturas amenas nas estações da Primavera e Outono, mais elevadas no Verão, em oposto, temperaturas mais baixas no Inverno (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, 2012). Apresentam-se as temperaturas exteriores assumidas em fase de projeto para o inverno (Figura 8) e verão (Figura 9) em Portugal continental (SOUSA, 2003).

Durante o ano, as temperaturas sofrem grandes variações. Os materiais expostos à radiação solar, quando a temperatura ambiente é de 20 °C, podem atingir temperaturas superiores a 50° C, por vezes atingindo diferenças na ordem dos 30 ° C relativamente há temperatura ambiente. Estas temperaturas induzem variações dimensionais nos materiais (alongamentos). Estas condições podem provocar tensões ou mesmo deformações elevadas, devido a sua dilatação. Cada material possui um coeficiente de dilatação térmica linear específico (Tabela 5). Através dos mesmos, podemos calcular a variação de comprimento por ação da temperatura, em materiais que se encontrem sem restrições de movimento, pela expressão (1) (SOUSA, 2003).

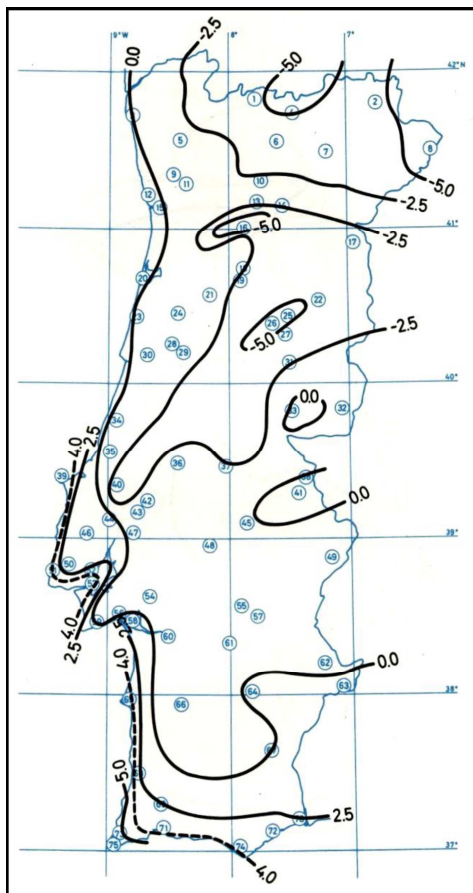


Figura 8. Temperaturas exteriores de projeto de inverno, em Portugal continental, com a probabilidade acumulada de ocorrência de 1 % (SOUSA, 2003)

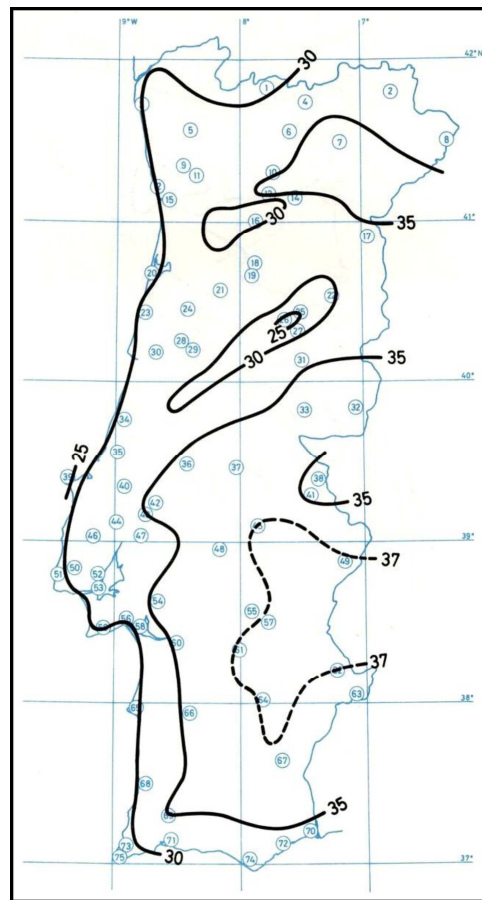


Figura 9. Temperaturas exteriores de projeto de verão em Portugal continental, com a probabilidade acumulada de ocorrência de 1 % (SOUSA, 2003)

$$\Delta L \cong L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

(1)

Em que:

ΔL : Variação de comprimento por ação da temperatura - [m];

L: Comprimento inicial - [m];

α : Coeficiente de dilatação térmica linear - [$^{\circ}\text{C}^{-1}$];

Δt : Variação da temperatura - [$^{\circ}\text{C}$].

Tabela 5. Valores do coeficiente de dilatação térmica linear (A.F.E.D.E.S, 1980, SOUSA, 2003)

Material	α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]
Alumínio (intervalo 0 a 600 $^{\circ}\text{C}$)	23×10^{-6}
Betão Corrente	6×10^{-6}
Calcário	7×10^{-6}
Gesso	25×10^{-6}
Granito	8×10^{-6}
Mármore	2×10^{-6}
Tijolo	$(3,5 \text{ a } 5,8) \times 10^{-6}$
Vidro (intervalo 0 a 100 $^{\circ}\text{C}$)	$(5 \text{ a } 10) \times 10^{-6}$

A temperatura que os materiais atingem, está diretamente relacionada com as suas propriedades (coeficiente de absorção, cor dos elementos), localização (latitude, altitude, orientação da fachada, ângulo de incidência da radiação), das condições atmosféricas (hora do dia, estação do ano, temperatura do ar em contato, velocidade do vento) e da poluição atmosférica. Elementos de cores mais claras refletem maior radiação solar (Tabela 6), por vezes contrariadas pela presença de sujidades depositadas, sendo que os mais escuros comportam-se opostamente, absorvendo quantidades elevadas de radiações solares, sofrendo assim maiores variações dimensionais devido ao aumento da temperatura (SOUSA, 2003).

Tabela 6. Valores do coeficiente de absorção da radiação solar (SOUSA, 2003)

Cor da Superfície	Valor de α_s
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

As variações dimensionais dos azulejos podem manifestam-se sobre duas formas, a nível do vidro e/ou da chacota. O primeiro não tem grande relevância no seu aumento dimensional, devido a sua dilatação ser muito reduzida no corpo cerâmico. O segundo tem um impacto mais significativo sobre o sistema onde se encontra, o aumento dimensional

provoca movimentos de contração e expansão dos elementos, sendo frequente observar-se nas áreas superiores dos panos por se encontrarem mais distantes da temperatura do solo e sem sombreamentos, atingindo desta forma temperaturas mais elevadas (SOUSA, 2003).

Devido as diferentes amplitudes térmica que os elementos sofrem, mais elevadas no exterior do material e menores no interior, originam-se tensões laminares ou de *stress* térmico (estado de tensão interna do material causado por variações térmicas) introduzindo assim uma deterioração no elemento. Esta, será influenciada pela temperatura e pela duração dos ciclos a que está sujeito, pois quanto maior a amplitude e menor a durações do ciclos, maior será a tensão e, conseqüentemente, a degradação do elemento. Por outro lado e na presença de vários materiais com temperaturas específicas e com índices de dilatação térmica diferentes, qualquer variação de temperatura irá induzir a uma expansão diferencial, o que pode provocar deformações temporárias ou permanentes, como, fissuras e fraturas. Outro dos sintomas que podem estar na origem destas fraturas são os choques térmicos², ou seja, uma alteração severa da temperatura devido a chuvas ou arrefecimentos bruscos. Estas causas fazem com que os materiais tenham uma distensão rápida provocando assim *stress* nos materiais e induzindo anomalias. O vidro e a cerâmica são exemplos de materiais suscetíveis, devido a sua baixa resistência aos choques mecânicos (alta dureza e baixa ductibilidade), baixa condutividade térmica e elevado coeficiente de expansão térmico (SOUSA, 2003).

Por outro lado, existem locais que podem estar durante grandes períodos sem exposição solar, sendo afetados desta forma com teores de água elevados nos – as áreas sombreadas são favoráveis à ocorrência de condensações superficiais, opostamente as áreas com incidência solar apresentam maiores taxas de evaporação.

Por outro lado, é necessário referir as temperaturas negativas, que por vezes são sentidas em Portugal, nomeadamente na cidade de Ovar (Figura 10) (Figura 11), sendo que os seus ciclos são diminutos e de pequena ocorrência em comparação com as temperaturas positivas sentidas durante o ano (WUNDERGROUND, 2012).

² Fenômeno que em geral origina à quebra de um material devido a uma variação brusca da temperatura.



Figura 10. Formação de gelo em Ovar dia 12 de Janeiro de 2012



Figura 11. Formação de gelo em Ovar, Rua José Falcão (campo agrícola)

É característica da água aumentar de volume ao congelar, contrariamente à maioria dos elementos. Ocorrendo a solidificação da água no interior da rede porosa dos materiais, pode destruir os poros e/ou as ligações das argamassas com a chacota, devido a pressão que exerce sobre os mesmos (SOUSA, 2003).

4.2. Humidade

A quantidade de vapor água presente na atmosfera denomina-se por humidade. A mesma pode-se expressar de diversas formas, entre elas a humidade relativa do ar, ou seja, a relação entre a quantidade de água existe no ar (humidade absoluta) e a quantidade máxima que o mesmo poderá conter a uma dada temperatura (ponto de saturação). Assim a humidade relativa (HR) não depende só da quantidade de vapor de água contida no ar mas também da temperatura e da pressão atmosférica. Se a quantidade de vapor de água contida no ar se mantiver constante e se a temperatura descer, a HR aumenta. Desta forma, mantendo-se a pressão constante e a mesma massa de ar, os valores da humidade relativa são mais elevados de madrugada, visto as temperaturas serem inferiores, sendo que para temperaturas mais elevadas, o ar admite maior quantidade de vapor de água.

A origem da humidade nas fachadas e edifícios tem vários pontos de origem, nomeadamente, através da humidade de construção (deriva essencialmente da preparação das argamassas utilizadas), humidade de precipitação (através da chuva e nevoeiro), humidade ascensional (oriunda do solo, origem freática ou superficial), humidade de condensação (condensações e fenómenos higroscópicos) e humidade acidental (rotura de tubagens de abastecimento água e de tubos de queda de águas pluviais).

A variação da humidade relativa é considerada um dos principais agentes de degradação em edifícios e dos materiais expostos em ambientes abertos, podendo dar-se à superfície ou no interior dos mesmos. Todos os materiais contêm uma determinada quantidade de humidade (equilíbrio higroscópico) a uma dada temperatura e HR. Pode surgir do seu fabrico, construção ou durante o seu período de utilização, tendo origem devido a humidades ascensionais do solo por capilaridade, precipitação (absorção da água das chuvas), condensações, fenómenos higroscópicos, infiltrações, limpezas ou casos fortuitos (derrame de águas pluviais). Esta variação é dinâmica e relaciona-se diretamente com as diferentes condições ambientais e os elementos envolventes (SOUSA, 2003).

Uma das formas de atuação da humidade como agente de degradação é a expansão. Devido às variações da quantidade de água líquida presente, quanto maior for a quantidade absorvida, maior será a expansão do material, pelo aumento de massa (Tabela 7). Esta infiltra-se na rede porosa dos materiais, ocupando os vazios existentes na rede, provocando expansões variáveis, uma vez que o processo é reversível devido às variações climáticas a que está sujeito. Por outro lado existe uma fração irreversível, no caso dos materiais cerâmicos decorrentes da desidratação que a produção induz (cozedura a temperaturas em torno dos 1000 °C), que pode ser superior a uma expansão de 1 mm/m. O equilíbrio pode demorar poucas semanas até alguns meses após a sua produção. A variação dimensional é variável e dependente diretamente das matérias-primas, da temperatura e do tempo de cozedura.

Tabela 7. Valores de expansão de ladrilhos cerâmicos com a humidade (SOUSA, 2003)

Tipo de Ladrilho	Classificação	Expansão com a humidade [mm/m]
Azulejo	All _b	0,6
Porcelânico	BI	< 0,6

Por outra parte, a humidade é um agente de degradação que tem uma ligação direta com os ataques químicos, que por vezes ocorrem nas fachadas dos edifícios azulejares. A água serve com meio de condução dos poluentes existentes no ar para a superfície dos materiais e introdução dos mesmos na rede porosa, através da absorção e equilíbrios higroscópicos, podendo degradar os materiais (azulejo e argamassa) e as interfaces. A água tem principalmente três formas de ação: transporte de elementos, interferência no grau de

hidratação dos elementos (no caso dos sais higroscópicos a evaporação leva à cristalização e no caso dos sais hidratáveis a sua presença conduz a um aumento de volume) e é essencial para o desencadeamento de reações químicas.

A humidade influencia diretamente os ciclos de cristalização, estando associada nomeadamente a hidratação, desidratação e dissolução dos elementos presentes no sistema. Mais que um meio de transporte, a variação da humidade pode causar anomalias através da evaporação ou absorção, ocorrendo a posterior a concentração e cristalização de sais. Diversos sais devido a sua composição e estrutura podem provocar igualmente danos na rede porosa dos sistemas, aquando do contacto e da sua hidratação. A decomposição de materiais calcários e das argamassas através da solubilização, podem causar a recristalização dos carbonatos de cálcio em outros locais, estando ligados a circulação da humidade no sistema (SOUSA, 2003).

A humidade é a principal fonte de sustentação e desenvolvimento dos agentes biológicos presentes em superfície das fachadas de edifícios. Existem locais que devido a sua localização e orientação (socos, locais sujeitos a salpicos de água, painéis voltados a norte), são propícios à fixação e desenvolvimento de microrganismos. A presença contínua de humidades relativas superiores 75 % a 80 % por longos períodos de tempo, acarreta riscos significativos para a superfície dos elementos cerâmicos exposta. Musgos, algas, fungos ou mesmo plantas são os seres mais comuns que se estabelecem e desenvolvem nestas circunstâncias, sendo que os níveis de humidade são aumentados e estabilizados em níveis próximos da saturação pela procriação de camadas superficiais, que diminui a evaporação e estabilizam desta forma as temperaturas, e servem como proteção contra o vento.

Por outro lado, a água incidente pode provocar a deposição de sujidades e seu transporte pela superfície, manchas irregulares são frequentes quando a circulação da água pelo suporte é desuniforme.

O ponto de orvalho³ está interligado com a humidade relativa. Se o mesmo for menor que 0 °C, atinge-se o chamado ponto de congelamento, sendo de ocorrência mais invulgar, a formação de neve ou gelo.

³ Ponto na qual a quantidade de vapor de água atinge o seu máximo a uma determinada temperatura. Nestas condições, a queda da temperatura provocará a formação de chuva, neve, orvalho, geada ou nevoeiro. O ponto de orvalho coincide com a temperatura quando a humidade relativa encontrar-se a 100%.

A neve, na cidade de Ovar, não tem qualquer influência devido a sua total ausência, já o gelo, surge por vezes na cidade (Figura 10) (Figura 11). Aquando da sua ocorrência, o processo de congelação da água dentro da rede porosa, produz um aumento de volume, podendo provocar microfissuração, fissuras ou fendilhação nos elementos. As roturas podem ocorrer num só material ou nas interfaces (SOUSA, 2003).

4.3.Sais

Os sais solúveis são um agente de degradação muito importante, estando sempre associados aos ciclos da humidade e da temperatura. A sua introdução nos edifícios pode ter diversas origens, nomeadamente, através do ambiente aéreo resultante de aerossóis marinhos como cloreto de sódio (halite), de sais de magnésio, potássio e sulfatos. De origem biológicos como carbonatos e nitratos, contidos na cerâmica como sais alcalinos e de origem humana através da poluição como nitratos e sulfatos. Nitratos, carbonatos, sulfatos, sódio, cálcio e magnésio são os sais mais detetados em fachadas existentes. Nas fachadas os sais apresentam mobilidade, seja por causa de água de infiltração ou de humidade de condensação ou ascensional, sendo que eles tenderão a concentrar-se junto às zonas de evaporação (BUYS, 1993, TELES, 1998).

O transporte dos mesmos pode ocorrer em duas fases, na fase líquida ou na fase gasosa. Na primeira a mobilidade está relacionada com a sucção, difusão por osmose e eletrólise, sendo que na segunda os fenómenos mais associados estão relacionados com as condensações, difusão, higroscopicidade, evaporação e perda de água.

A cristalização dos sais pode ocorrer à superfície dos materiais, denominando-se de eflorescências⁴, ou no seu interior, designando-se por criptoflorescências (cristalização de sais no interior da rede porosa). No primeiro caso, são depósitos cristalinos que surgem na superfície do revestimento, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas, devido a pressão do vapor de água nos materiais ser superior a pressão do vapor de água existente no ar. No segundo caso, a cristalização ocorre no interior dos poros muitas vezes justificado pela ação do vento moderado ou forte.

⁴ São depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície do revestimento, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas, devido a pressão do vapor de água nos materiais ser superior a pressão do vapor de água existente no ar.

Com os ciclos de molhagem/secagem, a quantidade de sais aumenta, provocando tensões pelo aumento do volume dos sais, destruindo a rede porosa e capilar, originando possíveis fissuras ou desagregação e posteriores lacunas.

Com isto as argamassas e paredes dos edifícios ficam confinadas com os sais, sendo desta forma distribuídos ao longo das mesmas dentro do sistema, que quanto maior for a solubilidade e higroscopicidade, maior será a sua propagação.

As anomalias causadas pela cristalização e hidratação dos sais é naturalmente lento, mas atua de uma forma constante se o sal permanecer no sistema durante longos períodos, estando sempre dependentes de outros fatores como a humidade relativa, vento, tipos de poros capilares e respetiva conectividade entre eles no sistema (MAGALHAES, 2002, TELES, 1998).

4.4. Vento

O vento como agente de degradação, funciona sob a forma simples ou combinada como elemento de transporte de partículas, sendo o primeiro que tem maior impacto como agente de degradação, por interferir influentemente na evaporação dos materiais expostos. O vento, enquanto veículo, tem particular pertinência nas zonas costeiras (transporte da halite), sendo que as mesmas podem atingir casas a várias dezenas de quilómetros. Nem todas as fachadas estão sujeitas ao mesmo impacto que o vento pode provocar, pois existem fatores como a velocidade, direção, localização, proteções naturais e prédios de maiores portes que influenciam diretamente este impacto (MARIZ, 2009, RATO, 2002).

O vento funciona com meio de transporte das partículas sólidas suspensas no ar, que entram em contacto com compostos no estado líquido ou gasoso presente no meio ambiente, sendo projetadas contra as fachadas existentes. A capacidade de transporte e projeção depende das características das partículas, diâmetro, peso e da velocidade do vento. A deposição destas partículas ocorre mais ou menos uniformemente nas fachadas dos edifícios expostos, sendo que esta é influenciada pela rugosidade do material, as características das partículas em suspensão e da humidade presente nos materiais. Excepto grandes tempestades, onde pode suceder o transporte de partículas com dimensões consideráveis, as velocidades normais observáveis, apenas partículas reduzidas geralmente são transportadas, daí que a importância deste fenómeno seja quase irrelevante à escala temporal humana (MARIZ, 2009, WHITTAKER, 1959).

Por outro lado, o vento tem um papel preponderante na evaporação dos sais em solução, pois acelera drasticamente a mesma. Quando estes encontram-se na rede porosa dos elementos podem causar danos graves devido à formação de criptoflorescências. Em casos em que o vento não é predominante, a evaporação dá-se lentamente, ocorrendo a mesma, à superfície dos elementos, onde os danos mais comuns são as eflorescências.

O ar, na medida em que contém sempre água no estado gasoso, pode atuar como agente de reações de oxidação em alguns locais, se nos mesmos existirem metais. Em casos como fachadas antigas, o ferro é encontrado diversas vezes, podendo iniciar-se corrosões do mesmo. A oxidação de metais, principalmente do ferro, pode levar ao aparecimento de manchas (deposições de subprodutos) em áreas adjacentes, provocar fissuras e fracturas porque a oxidação do ferro conduz a um aumento de volume (TORRACA, 1988).

4.5. Agentes Biológicos

No âmbito da biologia existem cinco reinos, que agrupam por ordem crescente de complexidade os microrganismos conhecidos, nomeadamente, reino monera, reino protista, reino fungi, reino plantae e reino animalia (WHITTAKER, 1959). O seu agrupamento depende do metabolismo dos organismos, ou seja, se produzem a sua própria matéria orgânica (obtem suas moléculas de carbono apenas de dióxido de carbono) ou se consomem diretamente a mesma. No primeiro caso, seres autotróficos, incluem-se seres como bactérias, cianobactérias, algas e plantas, ao inverso dos segundos, seres heterotróficos, como fungos, bolores, cogumelos e insetos. Os mesmos podem também ser classificados segundo o seu organismo celular, como unicelulares ou coloniais e multicelulares, sendo que os reinos animalia, fungi e plantae pertencem aos organismos multicelulares e os protistas e monera aos unicelulares. Todos estes seres vivos, tendem a aparecer e interagir com os edifícios existentes, aquando da presença de condições favoráveis (WIKIPÉDIA, 2012).

Os principais fatores limitantes para a presença de uma espécie em particular, são a temperatura, humidade, potencial de hidrogénio (pH), salinidade e poluição. Nas fachadas para existir a fixação ecológica e seu desenvolvimento é necessário a existência de matéria inorgânica disponível (composição mineralógica) e água, temperatura e luz nas condições adequadas. Os climas tropicais ou ambientes com humidade relativa alta e com superfícies

ásperas que permanecem molhadas por longos períodos, são locais onde os microrganismos têm facilidade em se fixar e desenvolver (CANEVA, 2000)

As bactérias têm um papel de degradação superficial através de ataques químicos, pois libertam ácido para solubilizar o substrato, o que leva à carência da densidade dos materiais.

Os fungos, seres heterotróficos, provocam alterações a nível mecânico através de colônias de hifas vegetativas que podem penetrar na ordem dos dez milímetros no material, provocando a diminuição da coesão e criando possíveis microcavidades no sistema. Ambientes pouco ventilados e com elevada humidade são propícios ao seu surgimento, colonizando diversos materiais orgânicos e inorgânicos. Quimicamente, pela produção de ácidos que provocam a redução consequente do pH, através da solubilização que podem provocar manchas escuras, devido à libertação de pigmentos e micélios⁵, podendo originar uma ação mecânica pela penetração no substrato (MARIZ, 2009).

As algas são organismos simples e devido ao escasso consumo de compostos inorgânicos são um dos primeiros organismos a colonizarem um material exposto. Necessitam luz, humidade e os materiais devem ter o pH entre 7 e 8. A fixação na superfície provoca uma retenção da humidade no substrato⁶, evitando assim a secagem das superfícies e promove a adesão do pó, resíduos orgânicos e a fixação de esporos⁷, desenvolvendo desta forma líquenes⁸, musgos e plantas vasculares. Produzem compostos prejudiciais para os materiais, como ácidos e aminoácidos, podendo causar desta forma alterações físicas e estéticas (MARIZ, 2009).

⁵ Nome que se dá ao conjunto de hifas emaranhadas de um fungo. O micélio vegetativo é a parte correspondente à sustentação e absorção de nutrientes, se desenvolvendo no interior do substrato. O micélio que se projeta na superfície e cresce acima do meio de cultivo é o micélio aéreo. Quando o micélio aéreo se diferencia para sustentar os corpos de frutificação ou propágulos, constitui o micélio reprodutivo.

⁶ Meio nutriente que serve de base (logo, sub-estrato), para o desenvolvimento de um organismo. Qualquer objeto, ou material, sobre o qual um organismo cresce, ou ao qual está fixado: substância, ou estrato, subjacente a esse organismo

⁷ As unidades de reprodução das plantas (no sentido da taxonomia de Lineu, ou seja, incluindo não só as plantas verdes, mas também as algas, os musgos e os fungos). Um esporo é basicamente uma célula envolvida por uma parede celular que a protege até as condições ambientais se mostrarem favoráveis à sua germinação

⁸ Seres vivos muito simples que constituem uma simbiose de um organismo formado por um fungo (o micobionte) e uma alga ou cianobactéria (o fotobionte).

Os líquenes, seres autotróficos, pertencem a diversas espécies e são de identificação difícil, mas junto com as cianobactérias⁹, são os pioneiros do assentamento, pois sobrevivem em circunstâncias ambientais extremas. Podem ser endolíticos, penetrando nos materiais ou epilíticos, não penetrando mais que uns milímetros, sendo por isso mais prejudiciais. Podem provocar degradações físicas e químicas nos materiais. Fisicamente com a expansão, absorção e acumulação da humidade através das suas raízes e quimicamente com a produção de ácido carbónico e compostos orgânicos ou a excreção de ácido oxálico por diversos fungos (MARIZ, 2009).

As plantas têm um papel influente sobre as condições termo-higrométricas, protegendo beneficemente os materiais expostos, pois aumentam a humidade relativa e a sua retenção, diminui a incidência solar, velocidade do vento e poluição do ar. Permitem reduzir a evaporação de soluções que podem provocar danos devido a cristalizações. Se por um lado diminuem os efeitos nocivos da temperatura, humidade e erosão do vento, por outro favorece condições ótimas para o desenvolvimento de musgos e algas devido aos sombreamentos, retendo desta forma grandes quantidades de água no substrato. As plantas superiores, normalmente surgem em fachadas sobre a forma de ervas e pequenos arbustos, sendo que as suas raízes podem provocar tensões através da penetração nos materiais, podendo causar fraturas lacunas e fissuras. Podem, secundariamente, permitir infiltrações e, em alguns casos, provocar alterações cromáticas pela libertação de compostos orgânicos (MARIZ, 2009).

Os animais são os seres vivos que menos impactos provocam em sistemas azulejares, tendo como principal ação degradação, os excrementos de animais voadores, aves e morcegos, pois as suas fezes contêm ácido úrico, fosfórico e nítrico que interagem com os substratos, criando condições para o estabelecimento de microfloras, bactérias e fungos para além da falta de higiene e efeitos estéticos.

⁹ Cianobactérias ou algas azuis, que inclui organismos aquáticos, unicelulares, coloniais ou filamentosos fotossintéticos. Possuem forma de cocos, bastonetes, filamentos ou pseudofilamentos, apresentando coloração azul em condições ótimas, mas são frequentemente encontradas apresentando coloração de verde oliva a verde-azulado.

4.6. Fatores Humanos

A falta de vigilância, prevenção, manutenção, conservação e reparação de edifícios são um dos problemas mais graves na realidade nacional e, em especial, nos edifícios antigos. Existem diversos fatores conducentes a esta degradação, são exemplos a falta de capacidade financeira, o desapego ou a falta de informação. A manutenção é a atividade básica para a preservação dos materiais. A mesma compreende ações como limpar, reparar e substituir materiais em falta ou com lacunas, em termos materiais ou funcionais. As mesmas devem ser precedidas de um diagnóstico detalhado que tem o objetivo de obter a máxima informação do sistema para a sua manutenção adequada e, posteriormente, poderá servir de referência para intervenções em casos similares (MARIZ, 2009).

Esta manutenção deve ser adequada aos edifícios e aos materiais em causa, sendo que por diversas vezes acontecem manutenções inadequadas, principalmente ao nível da compatibilidade físico-química. Na base da eleição de métodos, materiais e profundidade desapropriados, identificam-se fatores financeiros, desconhecimento das características dos materiais, mão-de-obra sem formação e falta de informação do projetista ou dono obra. Outro fator comum é o uso inadequado do edifício, relativamente, à sua funcionalidade e uso. Funcionalmente, são aplicados diversas vezes novos materiais diferentes dos já existentes, que originam o aumento do volume, organização espacial e visual diferente, em suma, falta de compatibilidade. Por outro lado o uso dos mesmos é inadequado se de forma extremamente intrusiva forem aplicados sistemas de iluminação, AVAC e publicidades, por exemplo. Alguns fatores podem mesmo influenciar as condições climáticas dentro dos edifícios, afetando o equilíbrio higroscópico com efeito direto nos materiais.

A negligência é outro fator muitas vezes observado, na forma de descuido, esquecimentos e ignorância. Em casos mais graves podem mesmo surgir inundações, devido atitudes negativas como o emprego de produtos de limpeza desapropriados e manipulação imprópria de peças no sistema.

Outra situação muito comum, é o vandalismo através de atos conscientes de destruição, como o arremesso de pedras, colagem de cartazes e execução de grafites. Este último é o maior problema da atualidade, pois provocam efeitos visuais graves nas fachadas, e são de difícil remoção, e que desfiguram as mesmas.

Outro problema da atualidade, é roubo de azulejo ou mesmo painéis completos. Na base dos mesmos o comércio ou colecionismo.

Normalmente são efetuados individualmente ou em grupos, em locais com fraca iluminação, falta de policiamento, edifícios abandonados e zonas com pouco povoamento. Por vezes aquando das reabilitações, são retirados azulejos que não são colocados posteriormente, por vezes são integradas réplicas para o seu lugar, mas trata-se de roubos a um património coletivo (MARIZ, 2009).

4.7. Catástrofes e Acidentes Naturais

As catástrofes naturais são fenómenos de ocorrência rara, mas de difícil previsão e controlo. Podem originar violentos danos a nível da destruição de fachadas, edifícios e arruamentos. Existem catástrofes de grandes dimensões como terremotos, tsunamis e projeção de raios, sendo que em Portugal existe probabilidade de acontecerem. Contudo mais frequentes são catástrofes de menor impacto ou acidentes naturais, nomeadamente, tempestades, chuvas intensas, raios e inundações.

Os sismos e tsunamis têm origem nos movimentos de oscilações da crosta terrestre, provocando conseqüentemente deslocações contínuas das placas tectónicas, originando distúrbios na superfície do planeta. Os sismos provocam normalmente anomalias nas construções com a introdução de forças de tração que ultrapassam a resistência dos materiais, originando danos muito graves ou mesmo a sua destruição. Nos casos dos tsunamis, os mesmos tem impacto idêntico, mas estão associados a um deslocamento de um grande corpo de água (ondas) que ultrapassam a orla costeira e podem destruir locais ou mesmo regiões (MARIZ, 2009).

Por outro lado existem fenómenos de inundações e ondas que podem afetar locais com cotas baixas e que se localizem próximo de frentes água, como o mar, rios e lagos. Normalmente estes estão associados a fenómenos de marés vivas, tempestades e ciclones. Por outro lado, o homem é “responsável” por inundações, se bem que não sendo naturais provocam diversos danos, com por exemplo rebentamentos de linhas de abastecimentos de água, cisternas e reservatórios. Em todos os casos, a principal consequência é a humedificação dos materiais externos e internos dos edifícios, pois podem facilitar o transporte e deposição de sais solúveis, tendo efeitos mais graves se a água contiver sais naturais ou artificiais (fertilizantes, por exemplo). Podem suceder nos casos mais graves, mas de rara ocorrência, como a queda total ou parcial de materiais devido à degradação dos materiais interiores, devido estes serem mais sensíveis.

Nos casos de inundações, os danos podem ser mais severos, ruína nos casos mais graves, provocados pela água ou por objetos transportados pelas correntes (MARIZ, 2009).

Os raios e incêndios podem afetar parcial ou totalmente os edifícios. No primeiro caso, os raios podem provocar uma descarga elétrica em edifícios, árvores e materiais de elevada condutividade elétrica, causando desta forma graves danos em construções em madeira e metálicas pois libertam energia que funciona como ignição para o início de incêndios. Por outro lado as árvores e postes de alimentação de energia elétrica podem também cair provocados danos similares. No caso dos incêndios podem ser de origem natural, como descrito anteriormente, ou de origem humana, sendo que nestes casos podem ser intencionais ou por negligência. Quando os mesmos ocorrem, principalmente em centros urbanos, são devastadores pois as construções antigas, normalmente, apresentam estruturas em madeira e materiais combustíveis, alimentando assim a propagação rápida do mesmo a edifícios adjacentes. Locais com fraco acesso e ventos fortes podem ser fatores que alimentam fortemente esta conjuntura. Os materiais cerâmicos presentes nos edifícios, apesar de não ser combustíveis, quando da exposição ao fogo podem ficar fraturados e rachados devido ao choque térmico, ou mesmo sofrer danos no vidro e manchas que pode lascas devido as tensões dos materiais serem diferentes entre a chacota e o mesmo, devido aos coeficientes de expansão térmica serem diferentes

Devem ser implementadas medidas para minimizar os danos das catástrofes, pois não ocorrendo poderá levar a atos de roubo ou vandalismo posterior (MARIZ, 2009).

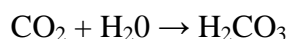
4.8. Poluentes

A poluição atmosférica é um dos agentes com maior impacto na atualidade, essencialmente em grandes centros urbanos. A origem dos mesmos tem várias fontes como tráfego urbano e atividades industriais. Após a sua produção e inserção na atmosfera podem ser transportados por via húmida, através da água, e por via seca, sob a forma de partículas, gases ou aerossóis¹⁰, depositando-se nas superfícies expostas. A somar a poluição atmosférica, existem as partículas de origem natural que são introduzidas através do vento

¹⁰ O aumento dos aerossóis atmosféricos, devido à poluição, tem nos últimos anos levado ao surgimento de um fenómeno conhecido como escurecimento global, que influencia parcialmente o aquecimento global.

dos desertos com subsequente transporte de areias finas, a partir do vento no mar com transporte de espuma e em casos mais específicos como a atividade de vulcões.

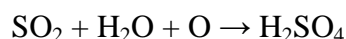
A concentração de contaminantes dispersos na atmosfera depende de fatores climatológicos, como a temperatura, a velocidade do vento, o movimento de sistemas de alta e baixa pressão e a interação destes com a topografia local, montanhas e vales. Os principais contaminantes - dióxido de carbono, enxofre, ozono, óxidos de azoto, monóxido de carbono e partículas - reagem com a humidade e formam ácidos e, posteriormente, produzem os respetivos sais, que provocam degradações nos materiais (MARIZ, 2009). O monóxido de carbono é um gás incolor e muito perigoso devido à sua toxicidade. Tem origem nos combustíveis fósseis, sendo produzido pela queima em condições de pouco oxigênio (combustão incompleta) mas também pode ter uma formação natural em processos biológicos. Este é um composto muito estável e de resistência elevada na atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito de estufa e das temperaturas. É um agente redutor, retirando oxigênio de muitos compostos em processos industriais, formando dióxido de carbono. Em reação com a água forma ácido carbónico (2), é um ácido fraco.



Formação do ácido carbónico

(2)

O dióxido de enxofre é um ácido solúvel em água e pode originar ácido sulfúrico (3). A reação química que leva à sua formação é a seguinte:



Formação do ácido sulfúrico

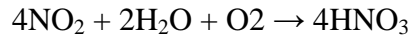
(3)

A formação do ácido sulfúrico está interligada diretamente com a reação do dióxido de enxofre com a água e oxigênio. É um ácido forte, podendo mesmo provocar danos em seres vivos, para além dos materiais.

A origem dos óxidos de nitrogénio encontra-se na combustão de combustíveis orgânicos a altas temperaturas, mas a principal fonte natural dos mesmos é o choque da atmosfera e transformações microbianas no ciclo do azoto.

O ciclo do nitrogênio é um dos ciclos mais importantes nos ecossistemas terrestres. O nitrogênio é usado pelos seres vivos para a produção de moléculas complexas necessárias ao seu desenvolvimento tais como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos.

O dióxido de azoto transformado em ácido nítrico (4) compõe a chuva ácida, que destrói monumentos e acidifica solos e sistemas.



Formação de ácido nítrico

(4)

A camada de ozono estratosférico é importante para a vida no planeta terra, sendo um gás que tem um alto poder de oxidação e causar danos nos materiais e saúde quando se encontra na troposfera. As partículas provocam danos nos edifícios e clima, podendo ser transportadas por grandes distâncias e ter efeitos de acidificação nos solos, água e materiais (MARIZ, 2009).

Apesar da difícil deposição dos poluentes nas peças vidradas e azulejares, devido a sua falta de rugosidade, com o decorrer dos anos, os mesmos tem uma atuação muito lenta mas sempre progressiva. As peças, aquando de defeitos de fabrico ou degradações no vidro, lacunas e fissuras ficam mais expostas a migração e contaminação dos azulejos e argamassas por estes, podendo acontecer ataques ácidos ao vidro e perda de brilho devido a migração do hidrogénio através de troca iónicas.

5. PATOLOGIAS DE MATERIAIS

Para a aplicação dos azulejos nas fachadas eram utilizadas argamassas, sendo que o estudo das mesmas é difícil, dado o impedimento de se conseguir reproduzir atualmente os materiais e técnicas de aplicação utilizadas no passado, pela perda de conhecimento acumulado. Foi assim necessário, procurar fomentar o conhecimento científico neste domínio com o objetivo de estabelecer os principais requisitos e características das argamassas utilizadas no século XIX, as argamassas à base de cal aérea (VEIGA, 2003, VELOSA, 2006). Este tipo de argamassa ostentava resistência e durabilidades aceitáveis, apesar de apresentarem geralmente uma absorção capilar elevada, tinham a contrapartida alta permeabilidade ao vapor de água, o que facilita a evaporação de água (apesar do azulejo reduzir seriamente este fator) que eventualmente se encontra no interior dos paramentos (CAVACO, 2005).

As argamassas de cal aérea apresentavam dificuldades em fazer presa em ambientes húmidos e com fraca presença de CO₂, dado que o seu endurecimento e desenvolvimento da resistência mecânica ocorrem devido a fenómenos de carbonatação. Refira-se ainda que, o desempenho das argamassas de cal aérea era fortemente condicionado pelo processo de aplicação em obra. As argamassas de cal aérea possuem menor resistência, mas maior trabalhabilidade, deformabilidade, capacidade de absorção de água, porosidade, aliada a uma menor tendência para a fissuração (BOTELHO, 2003, PINTO, 2007).

A cal aérea é assim constituída por hidróxidos de cálcio que, quando misturada com água, endurece lentamente ao ar (dai o seu nome aérea) por reação com o dióxido de carbono atmosférico. Note-se que a velocidade das reações e o processo de endurecimento são muito sensíveis às condições atmosféricas em que ocorre (BOTELHO, 2003).

A durabilidade das argamassas é influenciada por diversos fatores tais como o comportamento face à presença de água e de sais solúveis, a porosidade, a retração, as resistências mecânicas, a aderência ao suporte e também as características das argamassas no estado fresco (CAVACO, 2005, WANDERLEY, 2005).

Por outro lado as anomalias dos azulejos aplicados nas fachadas de edifícios antigos, são por vezes de fácil visualização e identificação, mas em outros casos é necessário um estudo mais específico para os detetar (FERREIRA, 2009).

Estas podem surgir devido a fatores como durante o processo de fabrico, no momento de aplicação, na sua utilização ou, como tem acontecido frequentemente na atualidade, de atos de vandalismo e furto, fatores antrópicos (MARIZ, 2009).

Nos azulejos das fachadas, as degradações podem ocorrer ao nível de alterações do suporte, do sistema de revestimento (argamassas e interfaces), defeitos de fabrico e degradações dos azulejos após integração arquitetónica (FERREIRA, 2009, MARIZ, 2009).

5.1. Alterações do Suporte

5.1.1. Fendas Estruturais

A existência de fendas estruturais em edifícios antigos, é uma das anomalias que por diversas vezes é observada, estão normalmente associadas a deformações, rotações das fundações. Caracterizam-se por cruzar totalmente o elemento onde se manifesta e as respetivas permitem identificar as causas - vulgarmente concentram-se nas zonas das janelas e portas, devido a sua menor resistência.

Os assentamentos do solo, que provocam desajustamentos nas fundações devido a movimentos naturais, ou provocados pelo próprio homem, como descalçamento das fundações, aumento de cargas nos pisos ou mesmo pelo tráfego urbano, são as principais causas de origem desta anomalia que estão sempre associadas a movimentações estruturais do edifício. Ainda a nível estrutural, a fendilhação das paredes podem provocar danos na camada de regularização, que consequentemente é transmitida ao revestimento, podendo em alguns casos só estar associados à retração das argamassas utilizadas (GUIMARÃES, 2009, RIBEIRO, 2011, SOUSA, 2003).

5.1.2. Deficiência de Planeza

As paredes exteriores dos edifícios com revestimento azulejar de Ovar são normalmente constituídas por paredes mestres em xisto, argamassa de emboço, argamassa de assentamento e revestimento cerâmico. O principal objetivo dos revestimentos, argamassa e azulejo, é proteger as paredes das ações dos diversos agentes agressivos, contribuindo também para o efeito decorativo pretendido e estanquidade à água.

A verticalidade e regularidade superficial são importantes características na planeza dos elementos. Deficiência de magnitude significativa de planeza dos suportes não é passível de ser corrigida com argamassas de emboço e assentamento, contudo, quando se tenta colmatar essas lacunas, são aplicadas camadas de regularização com espessura exageradas, não cumprindo assim as regras de aplicação, levando a possíveis retrações e fenda, que *a posteriori* podem ser transmitidas ao suporte de revestimento, os azulejos.

A deficiente regularização do suporte e assentamento, por vezes associados a dificuldades de remates finais com elementos da estrutura, contribuem em grande parte para o empeno dos mesmos (LUCAS, 1990) (LUCAS, 2005).

5.2. Defeitos de Fabrico em Azulejos

Alguns defeitos de fabrico, provocam um impacto determinante na deterioração rápida dos azulejos, quando estes facilitam o contacto direto do chacote com o exterior da fachada facilitando a ação de agentes causadores de patologias, promovendo abundantes casos de perda do vidro. Uma vez que estes defeitos de fabrico estão, na sua grande maioria, relacionados com o vidro são por vezes confundidos com sinais de degradação.

5.2.1. Enrolamento

Normalmente este defeito de fabrico em azulejos (Figura 12) é causado por uma retração do vidro fundente (constituente que se agrega a uma mistura para baixar o ponto de fusão), deixando desta forma uma área da chacota exposta. Com formato irregular e sem qualquer preenchimento, pode surgir em qualquer parte da peça. O enrolamento em torno de uma área está associado a sujidades e matérias gordas presentes na chacota, que restringem a adesão do vidro à chacota, ficando a mesma exposta ao meio ambiente. Este defeito pode estar relacionado também à deposição em excesso de vidro sobre a chacota, sendo então observável nas arestas ou nas reentrâncias das peças. O enrolamento do vidro pode também ocorrer na área circundante a uma fissura estrutural da chacota.

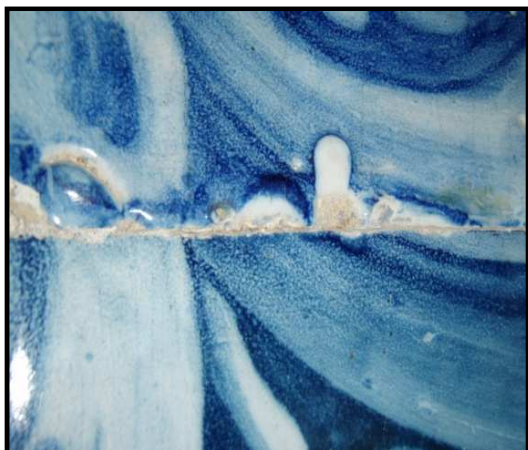


Figura 12. Enrolamento característico da camada de vidro



Figura 13. Pormenor de enrolamento característico da camada de vidro (MIMOSO, 2011b)

Podemos visualizar através das imagens apresentadas, um exemplo de um espessamento da camada de vidro no contorno de defeitos (Figura 13). Estes podem surgir em pequenas ou grandes superfícies dos azulejos, sendo diversas vezes descrito, em inglês, pelo termo “crawling” (MIMOSO, 2011a, RENAU, 1994).

5.2.2. Fissura de Cozedura

As fissuras de cozedura caracterizam-se pela abertura total da espessura do azulejo, não chegando a separar os fragmentos, pelo que o vidro na área circundante à fissura pode sofrer (nem sempre sofre) um enrolamento, deixando partes da chacota exposta, como se pode verificar na Figura 14.

Nas superfícies onde a fenda é de menor amplitude, pode ocorrer apenas um pseudografito com progressivo crescimento linear. O pseudografito é um defeito associado ao vidro que se revela por uma linha de cor mais clara sobre a área decorada, principalmente sobre as áreas mais coloridas, devido a um pequeno relevo no vidro que pode ter causa num início de enrolamento ou pela própria fenda que se encontra não visível por baixo (ALBERO, 1991, MIMOSO, 2011b, RENAU, 1994).

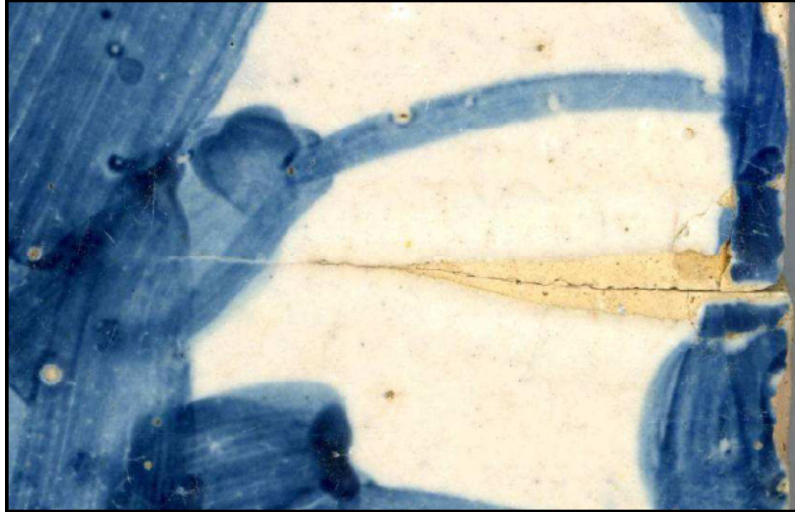


Figura 14. Fenda de cozedura associada a falta de vidro (MIMOSO, 2011b)

5.2.3. Poro

O poro é um defeito de fabrico que se localiza à superfície do vidro, prolongando-se até à chacota do azulejo colocando-a, desta forma, em contacto com o meio ambiente. Usualmente é utilizado o termo em inglês “pit” ou “pin-hole” para identificação deste defeito (Figura 15).



Figura 15. Poros num azulejo

Em alguns casos verifica-se que podem existir vários poros no mesmo elemento, contudo existem alguns que não são profundos, ou seja, não atravessam a superfície do vidro, denominando-se de picado.

O picado não expõem a chacota ao meio exterior, caracterizando-se por pequenas crateras que têm origem na libertação de gases durante o arrefecimento tendo normalmente arestas curvilíneas, podendo surgir isoladas e aleatoriamente, sendo comum serem identificados em inglês por “pitting” (ALBERO, 1991, MIMOSO, 2011b).

5.2.4. Laminação do Vidrado

Este defeito de fabrico relaciona-se com a dessolidarização do vidrado perdendo o contato com o corpo cerâmico, ocorrendo desta forma uma separação inicial e parcial que com o decorrer dos anos vai agravando-se promovendo bolsas entre o vidrado e a chacota de superfícies vítreas em forma de escama, como pode ser observado na Figura 16.



Figura 16. Laminação do vidrado

Após aplicação e consequente exposição a fatores de degradação, é de fácil deteção como se apresenta na figura, no entanto após o seu fabrico e antes da sua aplicação é de difícil identificação, sendo necessários meios técnicos específicos para fazerem cortes seccionais e verificação se o vidrado se encontra em estado de laminação (MIMOSO, 2011b, RENAU, 1994).

5.2.5. Craquelé

Apesar do craquelé ser um defeito que pode ser visível no azulejo em armazém, geralmente só se manifesta após aplicação. A sua origem pode ser devida a um mau acordo entre a pasta e vidrado (coeficientes de dilatação fora ou no limite dos parâmetros de

segurança) promovendo no arrefecimento aquando da cozedura do vidro tensões que, com o tempo fissuram o vidro, ou pode ser devido à expansão da chacota à humidade gerando igualmente tensões no vidro capazes de o fissurar.

O craquelé usualmente tem o seu surgimento nos azulejos após a sua aplicação, mas é identificado como defeito de fabrico, pois é indistinguível qual o primeiro a originar-se, ou seja, pode ocorrer na fase final do arrefecimento devido a choques térmicos ou à posterior como consequência de uma expansão térmica da chacota em que o vidro devido ao seu diferente coeficiente de dilatação não consegue acompanhar a mesma.

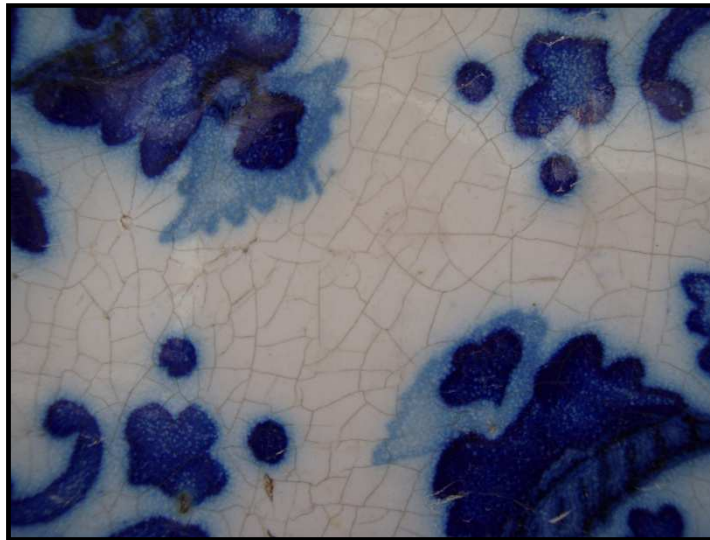


Figura 17. Craquelé em azulejo

Carateriza-se por fissurações do vidro (Figura 17), sendo que as mesmas podem propagar-se somente no vidro como podem surgir mutuamente na interface chacota/vidro, podendo por vezes levar à ocorrência de laminação do vidro. Desta forma, o mesmo pode ocorrer devido às especificidades físicas do azulejo já existentes ou da sua exposição a fatores de degradação ambiental (ALBERO, 1991, MIMOSO, 2011b, RENAU, 1994).

5.2.6. Empeno

Este defeito está relacionado com a produção da chacota do azulejo. O empeno ocorre normalmente ou na fase de conformação ou na fase de secagem. Este defeito não apresenta consequências funcionais para o azulejo (Figura 18).



Figura 18. Azulejo com defeito de fabrico apresentado empeno

Normalmente surgem deformações de pequena inclinação e profundidade, seja no sentido horizontal ou vertical dos elementos cerâmicos, mas de fácil deteção e de grande impacto visual (ALBERO, 1991, MIMOSO, 2011b).

5.2.7. Inclusão

Este defeito está associado a impurezas de grandes dimensões que fortuitamente foram integradas na pasta cerâmica (Figura 19).



Figura 19. Inclusão presente no azulejo (MIMOSO, 2011b)

A inclusão pode estar oculta no corpo cerâmico, não provocando patologias visíveis ou pode estar visível (ou tornar-se visível com o passar do tempo) e provocar fraturas no azulejo, ficando desta forma, o vidrado e a chacota expostos ao exterior (ALBERO, 1991, MIMOSO, 2011b).

5.3. Degradações dos Azulejos Após Integração Arquitetónica

Em relação às degradações que causam danos significativos nos sistemas de revestimento azulejar após integração arquitetónica, podemos subdividir os mesmos em três conjuntos, partindo do interior da parede para o exterior, nomeadamente: alterações na interface alvenaria - azulejo, alterações na interface argamassa – azulejo e chacota e alterações no vidrado. Apresenta-se de seguida uma ilustração (Figura 20) de uma fachada típica em azulejos e respetiva constituição.

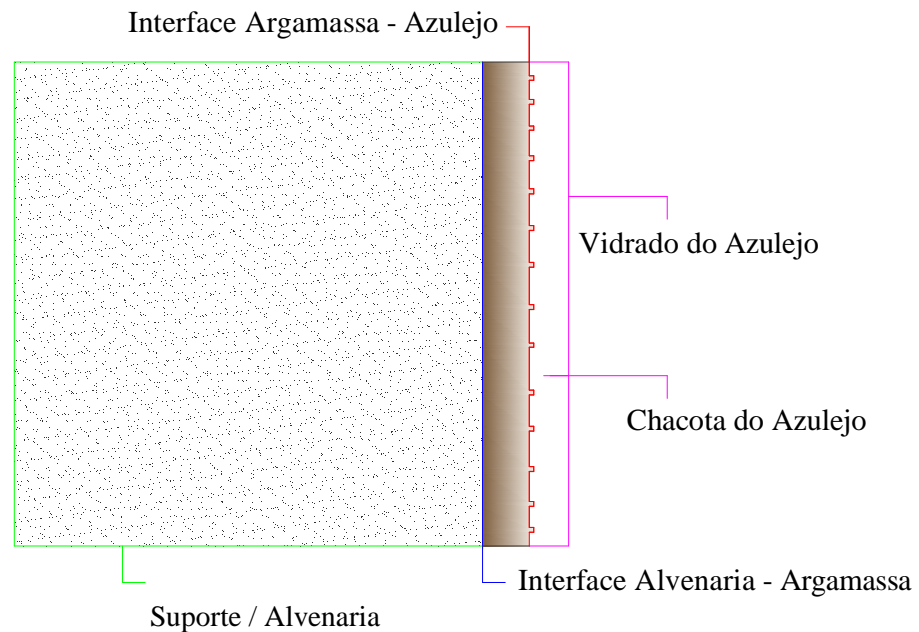


Figura 20. Ilustração de fachada típica em azulejos e respetiva constituição.

5.3.1. Alteração na Interface Azulejos /Argamassas

5.3.1.1. Destacamento e Empolamento

Usualmente estas alterações estão relacionadas com a perda de aderência da chacota ao suporte de um ou vários azulejos aplicados na fachada. O destacamento é normalmente detetado visualmente, quando já se encontra num estado avançado de degradação, sendo que para uma identificação numa fase inicial da degradação podem ser realizadas auscultações (Figura 21). Sons cavos (ocos), identificam perdas de aderência entre camadas (suporte/argamassa/azulejo) ou de coesão (argamassa).

Esta anomalia normalmente não implica a queda imediata dos azulejos, pois os mesmos encontram-se confinados por outros azulejos adjacente e que se apresentam aderentes. Aquando da sua remoção, em alguns casos não é possível recolocar os azulejos de novo no mesmo local, uma vez que os mesmos não entram nos espaços que anteriores preenchiam. Entre as causas prováveis para a sua ocorrência, estão fatores como, movimentos diferenciais do suporte em relação aos azulejos aplicados e dilatações térmicas dos materiais aplicados (FERREIRA, 2009, LUCAS, 2005).



Figura 21. Destacamento e empolamento de azulejos em fachada

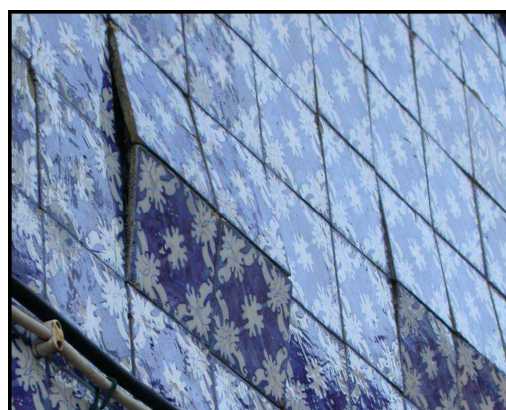


Figura 22. Pormenor de destacamento e empolamento em fachada azulejar

O empolamento caracteriza-se por uma área onde os azulejos presentes no painel encontram-se em queda iminente, normalmente de fácil identificação quando o seu estado de degradação é avançado (Figura 22). Nestes casos a distância entre os azulejos e o suporte já é elevada e são suportados nos elementos inferiores através dos bordos.

5.3.1.2. Colonização Biológica

A colonização biológica surge normalmente devido a fatores como a presença prolongada de humidade nas argamassas e nas chacotas. São vias de acesso juntas abertas, áreas sem azulejo, fissuras e fraturas de azulejos ou mesmo áreas com defeitos de produção ou degradadas. A erosão do ligante das argamassas, pode originar um aumento da porosidade e consequentemente da permeabilidade, dando lugar a um decréscimo das características mecânicas e a um incremento da susceptibilidade de ataques de outros agentes de degradação. Locais sombrios com falta de exposição solar, por vezes associados a acumulação de microrganismos, sujidades e poluentes são locais propícios para a sua rápida propagação.

O principal fator da colonização biológica, das argamassas e interface com o azulejo é a água. Depois de entrarem em contato com as mesmas, provocam degradações percorrendo a sua estrutura porosa, contaminando e danificando as ligações através de sais, agentes biológicos e poluentes (FERREIRA, 2009, LUCAS, 2005, SOUSA, 2005).

5.3.1.3. Perda de Coesão

A perda de aderência entre a argamassa e o suporte, manifesta-se através do descolamento da argamassa em relação ao suporte ou pela perda de coesão do material que constitui a camada de preenchimento. Vários fatores podem estar associados a esta alteração das funcionalidades das argamassas. A aplicação de camadas de argamassas com espessuras desapropriadas, aplicações sem tempo de secagem entre camadas quando necessário, falta de limpeza do suporte, condições climáticas adversas e excesso de quantidade de água são fatores importantes para o comportamento da vida útil das mesmas e respetivo sistema.

A perda de coesão pode estar associada a outros fenómenos, como, pulverização (desagregação dos vários componentes da argamassa, que se esfarela e conduz ao desprendimento de material sob a forma de pó ou de grânulos), arenização ou desagregação granular¹¹ e erosão¹². Em diversas situações a perda de coesão das argamassas de assentamento pode originar a perda de azulejos que destacam-se e caem (HENRIQUES, 2004, VEIGA, 2003).

5.3.2. Alteração na Chacota

5.3.2.1. Fraturas

A fratura do azulejo caracteriza-se pela quebra total, resultante de um choque físico violento ou da fissuração interna da chacota. Desta forma, após separação dos fragmentos, é normal verificar a linha de fratura, ou seja, linha formada na face pela junção dos mesmos, podendo em alguns casos detetarmos a sua origem (Figura 23).

¹¹ Perda ou lavagem das partículas finas da argamassa caracterizada pelo fácil destaque de partículas de dimensão da areia mesmo com esforços mecânicos de fraca intensidade.

¹² Corresponde a perda localizada de massa de superfície do material por ação dos elementos atmosféricos, podendo originar um efeito localizado de escavação da argamassa; este fenómeno, embora raro, regista-se no caso de argamassas antigas, muito espessas e com perda de ligante, geralmente após a perda da camada exterior de proteção (como a cal).



Figura 23. Fraturas em azulejos com separação de fragmentos



Figura 24. Fraturas de azulejos em fachada azulejar

Usualmente a deslocação e quebra do suporte devido a oscilações, tensões ou deformações estruturais, onde os azulejos se encontram aplicados, originam a sua fratura, pois os mesmos acompanham as deformações do suporte, ocorrendo a sua fratura (Figura 24). Por vezes existe uma espessura inadequando do reboco, deficiente dosagens da argamassa, junto com fatores como gelo e dilatações higrométricas afetam o suporte. Por outro lado, choques violentos nos azulejos e assentamentos imperfeitos, poderão originar fraturas nos mesmos, devido a sua rotura por flexão (LUCAS, 1998).

5.3.2.2. Esmagamento

Em muitas fachadas ocorrem o esmagamento de azulejos, o que origina que os mesmos esmaguem-se uns contra os outros ou contra partes da estrutura do edifício (Figura 25). Numa fase inicial os mesmos podem começar simplesmente por lascarem na sua periferia, lascagem dos bordos, devido ao início desta alteração.

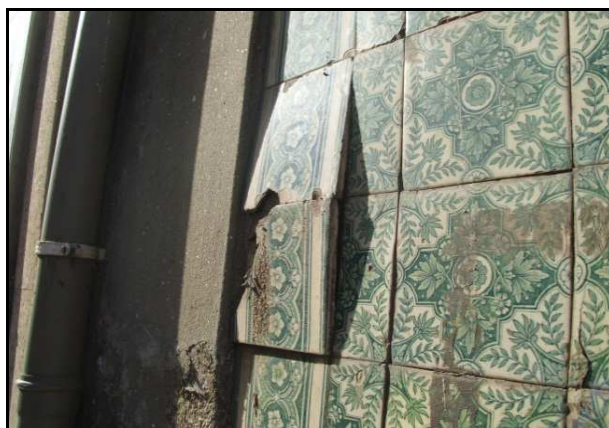


Figura 25. Esmagamento e lascagem dos bordos de azulejos

A principal causa destes esmagamentos dos azulejos deve-se aos movimentos diferenciais do suporte em relação ao sistema de revestimento azulejar, o que provoca a compressão dos azulejos, uns contra os outros ou nos elementos que normalmente encontram-se na periferia dos edifícios e vãos, usualmente granitos. A chacota devido as tensões exercidas entra em estado de rotura, ocorrendo o seu esmagamento (LUCAS, 2005).

5.3.2.3. Perda de Coesão

A perda de coesão da chacota, usualmente está relacionada com a desagregação ou com a delaminação do corpo cerâmico (Figura 26). Esta anomalia é secundária, pois deriva do seguimento de degradações de sais.



Figura 26. Perda de coesão da chacota (MIMOSO, 2011b)

Um dos fatores que mais afeta as chacotas é a pulverulência, através da sua alteração física na coesão da estrutura cerâmica para uma condição de desintegração de partículas ou formação de lâminas (esfoliação).

Esta alteração, normalmente tem uma ligação muito direta e dependente de outros fatores de degradação, como por exemplo criptoflorescência, que implicam a sua carência e diminuição das propriedades físicas (MIMOSO, 2011a).

5.3.2.4. Criptoflorescência

Em diversos casos a chacota fica sujeita a criptoflorescências, ou seja, são sais solúveis que cristalizam no interior do corpo cerâmico. Estes provocam uma desagregação grave na

chacota dos azulejos, sendo de difícil identificação e quase impossível detetar os mesmos, pois vão aumentando o seu volume e com o tempo podem causar a destruição dos poros.

Os depósitos dos sais no interior do corpo cerâmico não são estáveis, alterando-se com o tempo em função da temperatura e da humidade relativa do ar, modificando desta forma o estado de hidratação (higroscopicidade) periodicamente conforme as oscilações sofridas (CHATTERJI, 2005, TORRACA, 1988).

5.3.2.5. Colonização Biológica

A colonização biológica das chacotas está relacionada com os potenciais microrganismos que podem instalar-se e desenvolver-se, provocando degradações. Os principais organismos responsáveis por estas atividades biológicas são os fungos, bactérias, cianobactérias e algas. Quando existem lacunas de azulejos nos sistemas azulejares, fraturas ou juntas abertas, estes organismos conseguem atingir a chacota, através do transporte da água, vento ou simplesmente diretamente, provocando alterações significativas sobre a mesma. Locais sombrios e com falta de iluminação, por vezes associados a acumulação de sujidades, sais e poluentes são locais e fatores propícios para a sua proliferação e degradação contínua (FERREIRA, 2009, MARIZ, 2009, SOUSA, 2003).

5.3.3. Alteração no Vidrado

5.3.3.1. Fissuração

A fissuração caracteriza-se pelo surgimento de um conjunto de fissuras interligadas entre si. Em diversos casos surgem microfissuras no vidrado dos azulejos, que com o passar do tempo poderão progredir e constituir-se como zonas propícias à penetração de sujidades para o corpo cerâmico. Na fissuração, normalmente, não conduz à separação física dos elementos. As causas para o aparecimento desta degradação, como referido anteriormente, deriva, do processo de fabrico e manifesta-se quando os azulejos já estão aplicados no edifício, poderão manifestar-se como por exemplo em forma de craquelé ou de outros processos físicos ocorridos sobre o azulejo (FERREIRA, 2009, LUCAS, 1998).

5.3.3.2. Destacamento, Empolamento e Lacunas de Vidrado

O destacamento do vidrado dos azulejos caracteriza-se pelo desprendimento da superfície vítrea, sob a forma de bolsa ou de escama. Usualmente este tipo de degradação está relacionado com uma baixa coesão da chacota ou com uma interface reduzida entre a chacota e o vidrado que quando exposto aos agentes de alteração se apresenta frágil e propício ao destacamento.

O empolamento do vidrado representa o desprendimento do mesmo da chacota, deixando um espaço oco entre ambos, usualmente em forma de bolsa. Esta normalmente forma-se em áreas a volta de poros ou zonas delaminadas, podendo em alguns casos possuir criptoflorescências e atividade biológica.

As lacunas de vidrado caracterizam-se pela ausência total de vidrado numa determinada área do azulejo. Normalmente resulta da sua queda, deixando desta forma a chacota visivelmente a vista e em contacto direto como o meio ambiente (FERREIRA, 2009, LUCAS, 2005).

5.3.3.3. Eflorescência

As eflorescências são depósitos de sais que cristalizam à superfície das peças cerâmicas. Caracterizam-se por serem substâncias brancas e com formas filamentosas cristalinas pouco aderentes, proliferando usualmente em fraturas e juntas dos azulejos onde é possível ocorrer a evaporação da água.



Figura 27. Eflorescências em azulejo

Nos casos onde não existe vidro, ou seja, a chacota está exposta ao meio ambiente (Figura 27), a mesma pode sofrer a degradação, ocorrendo a perda de material cerâmico devido à rotura da estrutura do material pela força de cristalização ser superior à resistência dos materiais (CHATTERJI, 2005, FERREIRA, 2009, LUCAS, 2005).

5.3.3.4. Colonização Biológica

A colonização biológica nos azulejos está usualmente interligada a outros fatores de degradação, como, fraturas, juntas abertas e perda de vidro, pois aquando desta exposição ao meio ambiente, são atacadas por microrganismos como algas, fungos, bactérias, cianobactérias.



Figura 28. Crescimento de vegetação em fachada azulejar

Podem mesmo em alguns casos formarem-se plantas vasculares com dimensão considerável (Figura 28). Locais com falta de exposição solar e com grandes níveis de humidade são propícios para a sua proliferação (FERREIRA, 2009, LUCAS, 2005).

5.3.3.5. Enodoamento Irreversível

O enodoamento caracteriza-se especialmente pela presença de manchas na face dos azulejos (Figura 29). Os depósitos podem provocar discontinuidades do vidro (fissuras, fraturas ou defeitos de produção) e depositam-se na rede porosa próxima da superfície dos elementos cerâmicos.



Figura 29. Enodoamento irreversível

Uma das principais causas desta degradação deve-se às características dos azulejos, que não respondem adequadamente à severidade dos agentes. A abertura de poros na superfície tem como consequência o desgaste dos mesmos ou ataques químicos onde a sujeira se retém. Por vezes existem fatores humanos associados a esta degradação, como a poluição atmosférica, lavagem das ruas ou mesmo limpeza dos azulejos com produtos inadequados (LUCAS, 1998, MARTINS, 2010).

5.3.3.6. Concreções

As concreções caracterizam-se por atingir e sobreporem-se nos azulejos aplicados em fachadas, usualmente por condensação de partes de um corpo sólido, concreção salina. Este tipo de alteração ocorre quando uma solução aquosa, onde se encontram solubilizados sais, ascende a superfície de um pano parietal onde através da evaporação do solvente os sais cristalizam. Estas ascensões e cristalizações estão intimamente ligadas a ciclos de secagem e molhagem, que ao longo do tempo vão depositando sucessivas camadas de sais cristalizados, criando assim as concreções à superfície (Figura 30) (Figura 31).

Os materiais que compõem estas alterações superficiais são muito variados, sendo normalmente os mais comuns, materiais calcários (concreções calcárias) que normalmente advêm da dissolução de material pertencente a argamassas (ELERT, 2002, LUBELLI, 2011) e concreções ferrosas que poderão ter origem dos materiais de construção ou de antigas canalizações.



Figura 30. Concreções por dissolução de calcite e consequente migração e cristalização à superfície (LUBELLI, 2011)



Figura 31. Concreções à superfície de um muro de tijolo junto de um canal de água (LUBELLI, 2011)

O depósito superficial de poluentes, partículas e organismos também estão interligadas às concreções salinas que se podem manifestar nos mesmos locais mas resultando em alterações diferentes. Normalmente esta degradação acontece em locais muito específicos e associados a diversos fatores de degradação presentes nas fachadas.

5.4. Agentes Antrotróficos

Os agentes antrotróficos encontram-se sempre conectados com as ações humanas, diretas ou indiretas, por ação ou por inação (ausência de manutenção, por exemplo). Em fachadas com acabamento em azulejo é recorrente encontrar a aplicação de cimentos do tipo Portland, tanto a nível da camada de assentamento, como no preenchimento de lacunas de azulejos. Este material apresenta características que pode provocar algumas disfunções como fissuração (ao ter resistências mecânicas superiores em relação ao azulejo), tensões laminares (incompatibilidade com o suporte), cristalizações de sais (ao possuir na sua composição sais hidratáveis) e, ainda, é de difícil remoção nos casos de intervenções, não apresentado desta forma irreversibilidade nas intervenções (FRÖSCHL, 1998). Desta forma, diversas vezes comete-se o erro de utilizar este tipo de argamassas na reabilitação e conservação de edifícios antigos. Quando se utiliza as mesmas de forma a acabar ou prevenir fatores de degradação, tornam-se numa má correlação pois irá intensificar e provocar novas anomalias.

Por outro lado, as argamassas cimentícias têm uma permeabilidade ao vapor de água menor comparativamente às argamassas de cal, por serem menos porosas, provocam uma menor evaporação da água existentes nos elementos. A presença contínua da água no interior das paredes incita ao desenvolvimento e incremento das patologias, como transporte de água para os parâmetros interiores, incremento da condutividade térmica do elemento, aumento de condensações, desenvolvimento de fungos e transporte de concentração de sais hidrossolúveis. Outra desvantagem destas argamassas relacionam-se com o aumento das tensões induzidas no suporte, pois a sua rápida secagem provoca retrações elevadas nos suportes, podendo originar a sua rotura. Por outro lado, ao utilizar-se argamassas que não compatíveis com os materiais existentes nos edifícios antigos, aumenta consideravelmente a probabilidade de ocorrência tensões físico-mecânicas ou ataques químicos. As questões de ordem estética e de ética da intervenção não são de desconsiderar (CAVACO, 2005, LUCAS, 1998).

As ações de natureza humana caracterizam-se normalmente pelos roubos de azulejos de fachada, principalmente ao nível das cotas mais baixas dos edifícios devido ao seu fácil acesso. A aplicação de elementos metálicos oxidáveis em fachadas é outros dos problemas normalmente detetados devido as manchas e escorrimentos que provocam nos azulejos, devido à oxidação que em situações mais gravosas pode levar à fratura de peças e à consequente perda de material. Frequentemente são usados metais para a aplicação de cartazes, reclames, caixas de eletricidade e água, pregos e diversas placas que afetam severamente os azulejos, muitos deles já fragilizados. Os danos estéticos nas fachadas não são desconsideráveis. Por último, existem situações de dolo como picagens e retirada de símbolos e imagens figurativas ou mesmo com a execução de grafites.

6. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Pretende-se estudar o comportamento das argamassas de assentamento de azulejos aos que são considerados os principais agentes de degradação, especificamente, temperatura e humidade relativa em câmara climática. Desta forma, durante o ensaio serão registadas todas as anomalias verificadas macroscopicamente e, posteriormente serão realizados os seguintes ensaios: módulo de elasticidade, resistência à tração por flexão, profundidade de carbonatação, resistência à compressão, absorção de água por capilaridade, absorção de água sob baixa pressão e arrancamento por tração (*Pull-Off*). Este estudo teve como ponto de partida a realidade de Ovar, quer em termos de tipologias construtivas quer de peças cerâmicas, azulejos originais (de finais do século XIX e princípios do século seguinte) e reproduções. Os dados climáticos foram aferidos com esta mesma realidade.

Com vista a estudar o comportamento das argamassas de assentamento de azulejo, foram usadas três formulações distintas, todas com traços iguais 1:3 (ligante e agregados). De forma a recriar a realidade construtiva foi elaborado um sistema tipo (visando recriar alvenaria – argamassa de assentamento – azulejo – cantaria) e que foi ensaiado na horizontal. Foi produzido um sistema para cada argamassa. Foram levados à câmara climática dois sistemas simplificados (alvenaria – argamassa de assentamento – azulejo) que foram ensaiados na vertical, um com azulejos originais e outro com azulejos tipo reproduções; na câmara foram introduzidos dois azulejos isolados (elementos de referência) e nove provetes prismáticos.

6.1. Matérias-Primas

Para a realização do trabalho experimental usou-se como matéria-prima: areia do rio (A) como agregado; cal aérea hidratada (C) como ligante; metacaulino (MK) e sepiolite (SE) como aditivos; e água.

A areia do rio utilizada encontrava-se armazenada no laboratório do Departamento de Engenharia Civil, verificando-se que estava limpa e sem qualquer tipo de impurezas que pudessem afetar os resultados do trabalho. Contudo, antes do início da sua aplicação, foi efetuada uma peneiração manual, utilizando o peneiro de 4 mm segundo a norma (NP EN 933-1, 2000) e com a dominação nominal da abertura dos peneiros segundo a norma (ISO 3310-2, 1990), de forma a eliminar as partículas de maior dimensão.

Relativamente à cal aérea, esta era hidratada e em pó da marca Lusical S.A. Estava em depósito no laboratório, era recente e encontrava-se bem empacotada e fechada de modo a que as suas propriedades não fossem alteradas.

Os dois aditivos, metacaulino e sepiolite, foram também fornecidos pelo laboratório. Encontravam-se armazenados e devidamente acondicionados nas suas embalagens. Relativamente à sepiolite, foi necessário efetuar a sua moagem de forma a diminuir a respetiva granulometria.

6.1.1. Análise Granulométrica

Para a areia utilizada no trabalho experimental foi efetuada a análise granulométrica. Para isso foi colocada uma amostra de 500 g de areia a secar na estufa a 100 °C e só posteriormente se efetuou a sua análise granulométrica segundo a norma (NP EN 933-1, 2000) com a dominação nominal da abertura dos peneiros segundo a norma (ISO 3310-2, 1990). Usou-se uma coluna de peneiros, sendo que esta era constituída por dez elementos, estando dispostos de cima para baixo por ordem decrescente da dimensão de abertura da malha, o de maior de dimensão 16 mm e o de menor 0,063 mm e respetivo fundo.

A coluna com a amostra foi colocada no agitador elétrico, tendo sido utilizado uma amplitude de 50 Hz durante um período de 10 minutos. De seguida foi retirado e pesado a quantidade de amostra retida em cada peneiro. Apresenta-se de seguida (Figura 32) a curva granulométrica obtida da areia utilizada no presente trabalho.

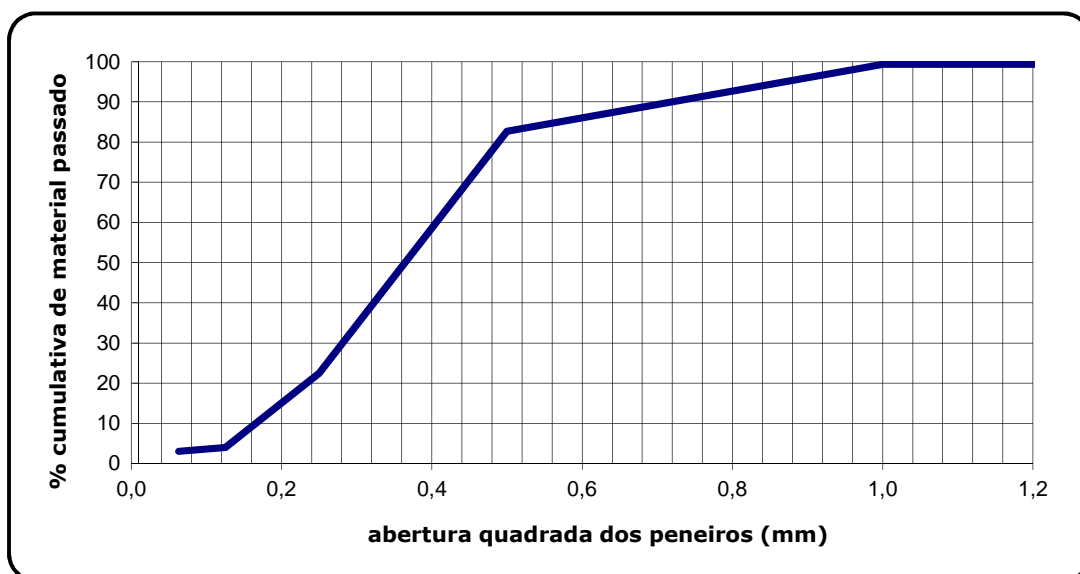


Figura 32. Cua granulométrica da areia utilizada

Relativamente aos aditivos utilizados, no caso da sepiolite, a mesma foi moída em um moinho de anéis e, posteriormente à moagem, o material foi crivado em peneiro de malha de 63 μm . Seguidamente e de forma a aferir a granulometria real (fundo), a sepiolite foi submetida a análise granulométrica através de Sedigraf. Apresenta-se o resultado obtido na Figura 33.

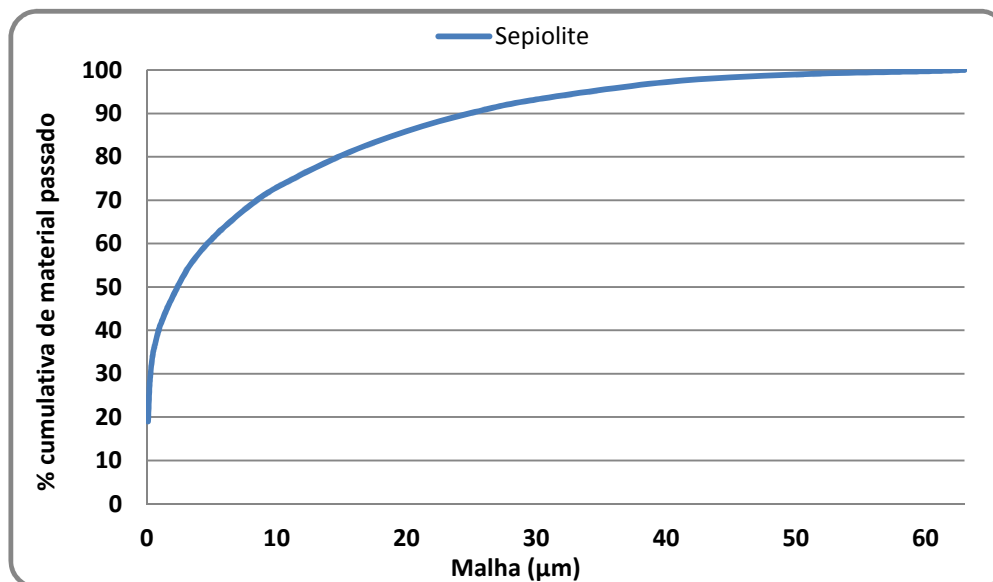


Figura 33. Distribuição e tamanho das partículas da Sepiolite

No caso do metacaulino, a análise granulométrica (Figura 34) é fornecida pelo produtor (ficha técnica do produto). A mesma indica que 55 % do material é inferior a 2 μm . Apresenta-se de seguida a análise granulométrica do produto.

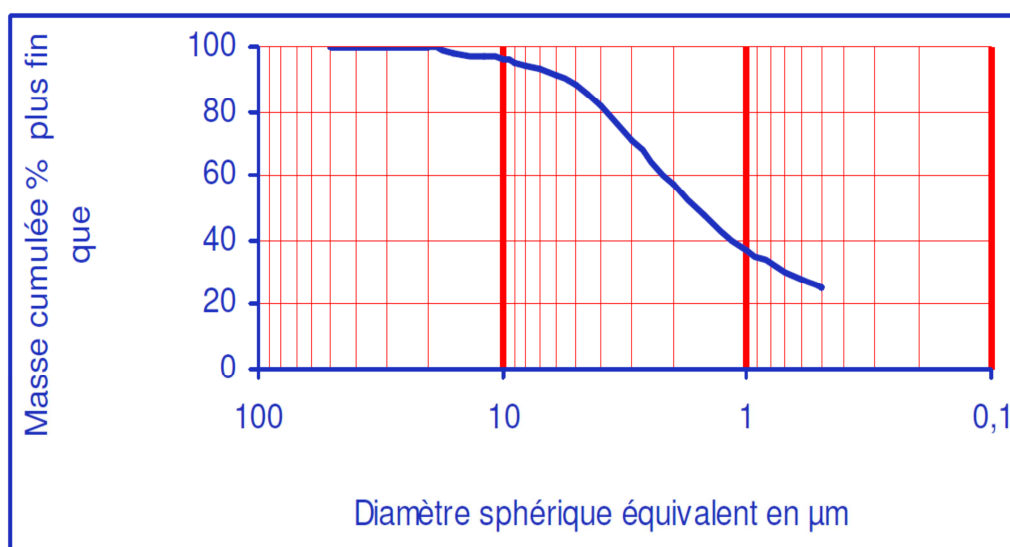


Figura 34. Distribuição e tamanho das partículas do Metacaulino.

6.1.2. Massa Volúmica Aparente

As matérias-primas utilizadas fazem parte de várias dissertações e trabalhos já realizados na Universidade de Aveiro (TEIXEIRA, 2008, VALENTE, 2008), sendo que se recorreu aos valores apurados pelos respetivos autores. Nestes trabalhos a massa volúmica aparente foi calculada aplicando a norma (CAHIER 2669-4 CSTB, 1993). Apresenta-se de seguida, Tabela 8, os valores referidos.

Tabela 8. Massa volúmica matérias-primas (TEIXEIRA, 2008, UNIVERSIDADE DE AVEIRO, 2012, VALENTE, 2008)

Material	Massa Volúmica Aparente (g/dm³)
Cal Aérea	460,00
Areia	1620,32
Metacaulino	476,07
Sepiolite	530,00

6.2. Preparação

6.2.1. Esquema de Preparação

A realidade a recriar teve como referência a construção tipo de Ovar – alvenaria de pedra (xisto) argamassado com saibro, cantaria de granito para contorno dos vãos (Figura 35) e argamassas de assentamento de azulejo à base de ligante aéreo (cal) e agregados vários (areia e saibro). Existem outras tipologias na cidade – tijolo, frontal, taipa e adobe – mas não são os suportes mais frequentes.



Figura 35. Alvenaria de xisto típica em Ovar

De forma a recriar a realidade construtiva foi elaborado o seguinte sistema: base em betão, dois tijolos unidos, argamassa e dois azulejos originais e duas réplicas. A confinar este sistema foi aplicada uma cantoneira de granito que encontrava-se apertada por uma cinta metálica associada a esticador, sobre perfil quadrático para distribuição uniforme da força aplicada. Foram realizados três sistemas desta natureza. Apresenta-se de seguida o esquema de montagem referido (Figura 36) (Figura 37).

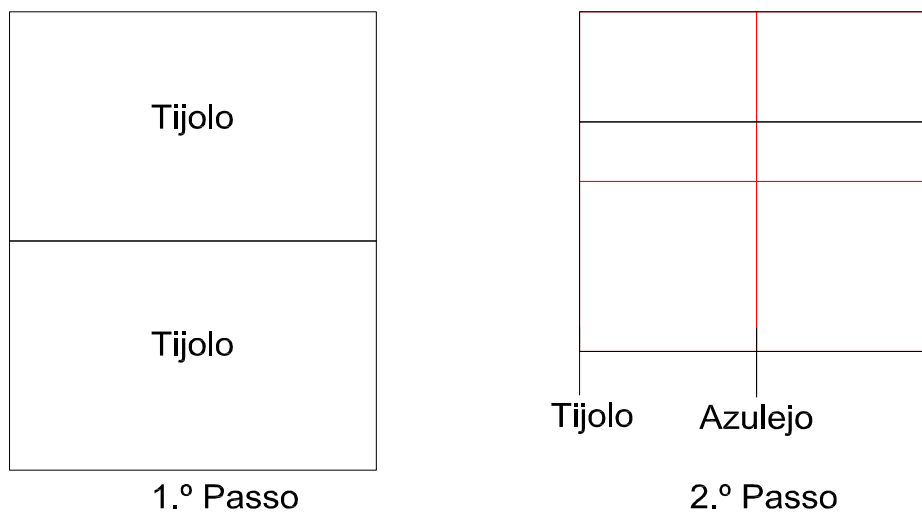


Figura 36. Esquemas de montagem, 1.º e 2.º passo

Primeiro Passo: união de dois tijolos cerâmicos de dimensões 45x25x20 com argamassa de cimento num traço de 1:3.

Segundo Passo: Corte dos tijolos com as dimensões pretendidas. Projeção a vermelho da localização dos azulejos. A preto localização dos tijolos unidos.

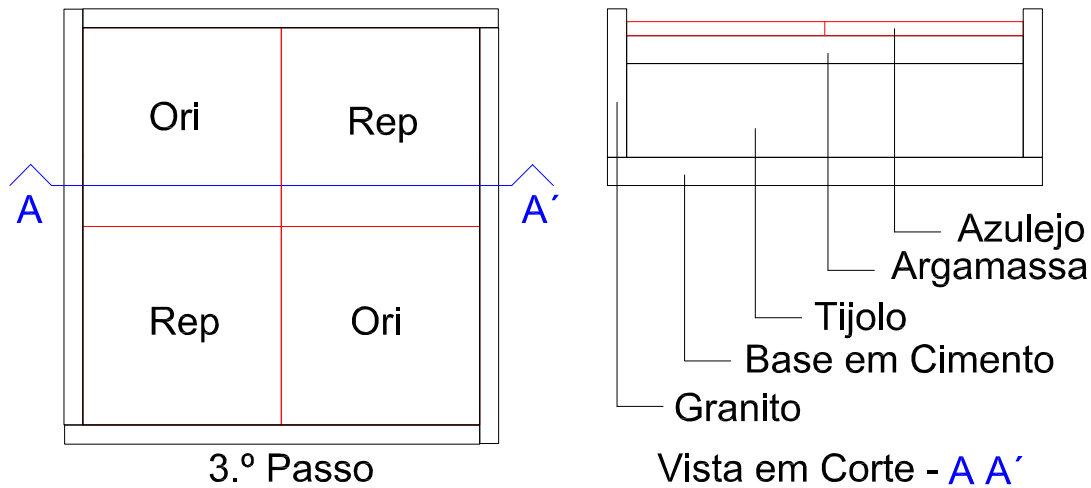


Figura 37. Esquema de montagem, 3.º passo e vista em corte

Terceiro Passo: Realização de base em cimento para suportar o peso do sistema. Assentamento do granito a confinar o sistema. Assentamento dos azulejos. Aplicação de cabo metálico sobre perfil quadrático (a meio do vão foi aplicada uma sobrelevação de forma a distribuir uniformemente a força aplicada) à volta do sistema ligado a um esticador.

Vista em corte A A': Vista final em corte do sistema com todos os elementos utilizados.

6.2.2. Montagem dos Sistemas

Antes do início da montagem dos sistemas, recorreu-se a uma empresa exterior para efetuar cortes circulares nos azulejos (Figura 38), com um diâmetro de 5 cm para cada sistema (três originais e quatro réplicas) (Figura 39), tendo sido utilizado uma máquina de jacto água de corte abrasivo (areia), de forma a possibilitar a posteriori a realização do ensaio de arrancamento por tração (*Pull-Off*).



Figura 38. Corte circular em azulejo através de máquina de jacto água de corte abrasivo



Figura 39. Corte dos azulejos utilizados no trabalho

A elaboração do sistema foi faseada, sendo que a sua execução não foi contínua, uma vez que houve a necessidade de cura de alguns materiais, de forma a garantir a sua aderência. De referir que antes da aplicação dos azulejos, os mesmos foram submersos em água durante vinte e quatro horas. Apresenta-se de seguida, Figura 40 e Figura 41, da montagem concretizada.



Figura 40. Corte dos tijolos cerâmicos

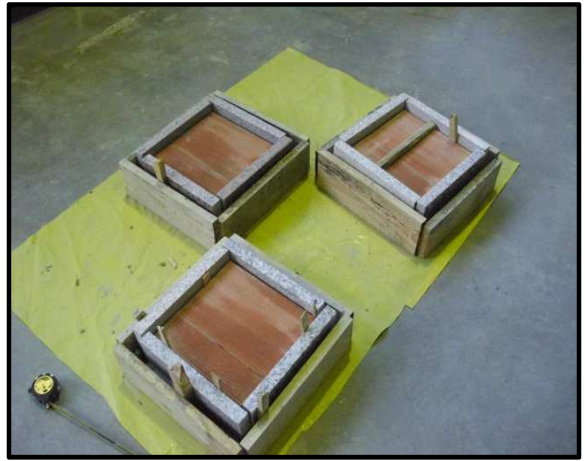


Figura 41. Aplicação da cantaria em granito nos três sistemas

Todos os azulejos dos três sistemas horizontais e dos dois verticais, foram assentes utilizando-se uma espessura de 2 cm de argamassa (Figura 42) (Figura 43).



Figura 42. Assentamento de um azulejo – réplica



Figura 43. Sistema um final com aplicação de quatro azulejos – duas réplicas e dois originais

Como elementos de referência foram aplicados na vertical três azulejos originais e três réplicas (Figura 44) em dois tijolos diferentes. Foram ainda realizados trinta e seis provetes prismáticos (Figura 45) das três argamassas aplicadas para serem ensaiados a diferentes idades.



Figura 44. Sistema vertical com assentamento de azulejos originais



Figura 45. Moldes de provetes prismáticos com argamassas frescas

6.3. Câmara Climática

6.3.1. Parâmetros dos Ciclos de Envelhecimento

O presente trabalho tem como ponto de partida a realidade climática de Ovar. Conforme dados recolhidos e elaborados no capítulo 3.2 do presente trabalho, na cidade de Ovar verificam-se as seguintes amplitudes térmicas: temperaturas de 10 a 43 °C e humidade relativa compreendida entre 24 e 100 % durante o verão e no período de inverno temperaturas de -4 a 21 °C e de humidade relativa de 10 a 100 %.

Com base nestes dados foi desenhado um ciclo climático para o ensaio em câmara climática ligeiramente mais severo que as temperaturas e humidade relativa sentidas em Ovar. Inicialmente foi projetado um ciclo que teria no “inverno” uma temperatura máxima negativa de -5 °C mas após uma visita à cidade para o acompanhamento de campanhas *in situ* detetou-se a presença de gelo de espessura considerável (Figura 10) (Figura 11). O local apresentava condicionantes propícias para o seu surgimento uma vez que era húmido e sombrio, mas não era expectável que temperaturas do ar de 12 °C às 11 horas a sua presença ainda se mantivessem. Perante esta situação, e após verificação das condições climáticas dos últimos cinco anos, foi decidido diminuir mais a temperatura mínima no período de inverno.

O ciclo projetado tem uma duração total 48h, que se repete consecutivamente após o seu termo. O ciclo está dividido em dois períodos – verão e inverno – que duram cada um 24h. Em cada período ocorrem variações de temperatura e humidade relativa em intervalos de três horas. Seguidamente apresenta-se os respetivos parâmetros:

Ciclo de “verão”:

- Temperatura de 60 °C e humidade relativa de 95 %
- Temperatura de 10 °C e humidade relativa de 40 %

Ciclo de “inverno”:

- Temperatura de 30 °C e humidade relativa de 95 %
- Temperatura de -10 °C e humidade relativa de 95 % (T <0 a HR=0)

Apresenta-se de seguida o gráfico com os parâmetros da temperatura (Figura 46) e humidade relativa (Figura 47) utilizados no ensaio de envelhecimento.

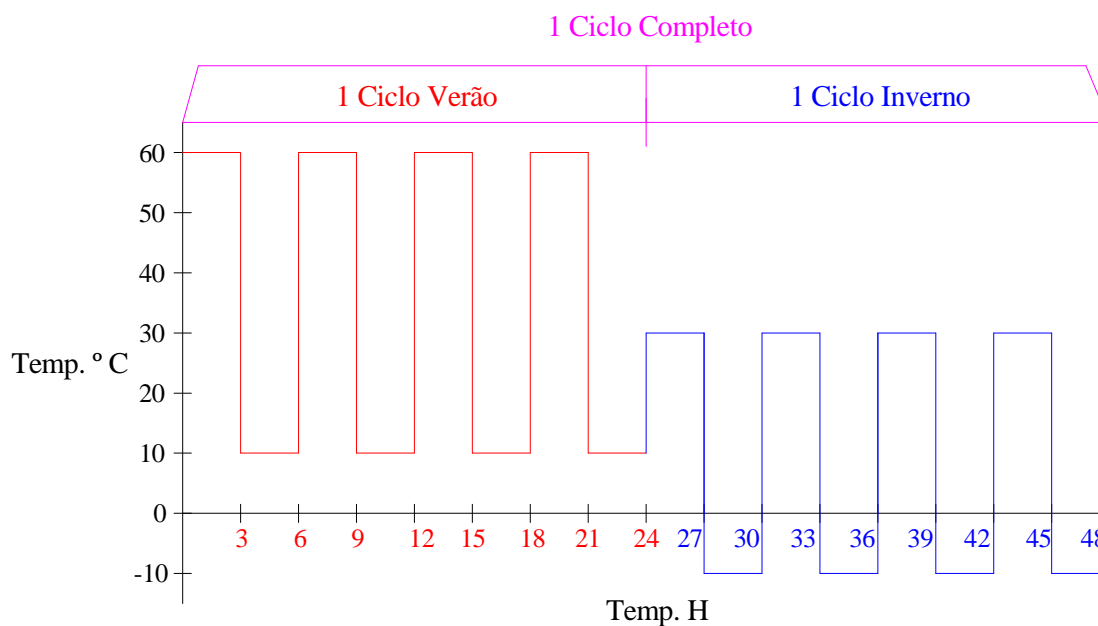


Figura 46. Ciclo utilizado para programação da câmara climática do parâmetro temperatura °C.

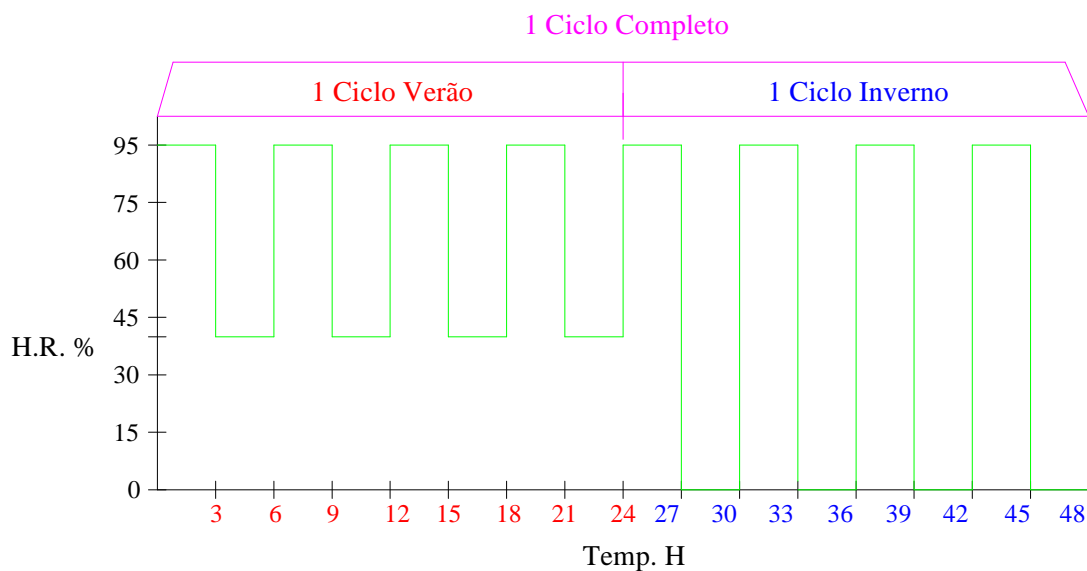


Figura 47. Ciclo utilizado para programação da câmara climática do parâmetro de humidade relativa %.

6.3.2. Câmara de Envelhecimento Artificial Acelerado

O ensaio de envelhecimento foi realizado na câmara climática da marca “ESPEC” modelo “ARL-680” (Figura 48) (este modelo tem uma capacidade de gama de medição de -45 °C a 180 °C para temperaturas; 10 a 98 % para humidades relativas) presente no laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, tendo sido este o primeiro ensaio realizado pela mesma.



Figura 48. Câmara de Ensaio Climáticos ESPEC ARL-680

A câmara climática foi carregada com diversos sistemas referidos (capítulo 6.2.2), sendo que para cada caso foram utilizadas três argamassas diferentes (Figura 49). Apresenta-se se seguida constituição dos elementos que foram sujeitos ao ensaio na câmara de envelhecimento:

➤ **Parte inferior da câmara (Figura 50):**

- 1 Sistema horizontal (2 réplicas x 2 originais) com argamassa 1
- 1 Sistema horizontal (2 réplicas x 2 originais) com argamassa 2
- 1 Sistema horizontal (2 réplicas x 2 originais) com argamassa 3



Figura 49. Sistemas (2 réplicas x 2 originais) com argamassa 2



Figura 50. Câmara climática com carregamento dos 3 sistemas na prateleira inferior

➤ **Parte superior da câmara (Figura 51 Figura 52):**

- 1 Sistema vertical com 3 originais com argamassas 1,2 e 3 respetivamente
- 1 Sistema vertical com 3 réplicas com argamassas 1,2 e 3 respetivamente
- 3 Provetes prismáticos de argamassa 1
- 3 Provetes prismáticos de argamassa 2
- 3 Provetes prismáticos de argamassa 3
- 1 Azulejo original
- 1 Azulejo réplica

Os ensaios decorreram durante trinta e seis dias consecutivos, sem qualquer tipo de interrupção ou alteração dos parâmetros indicados. Na totalidade foram realizados dezoito ciclos correspondentes ao ciclo de “verão”, e igual valor para o ciclo de “inverno”, perfazendo um total de oitocentos e sessenta e quatro horas de ensaio.



Figura 51. Câmara climática com carregamento dos sistemas da prateleira superior



Figura 52. Pormenor da Câmara climática com carregamento dos sistemas da prateleira superior

6.4. Formulações das Argamassas

Nos últimos anos, a Universidade de Aveiro tem executado investigações no desenvolvimento de argamassas com características adequadas à intervenção no património edificado antigo. Diversos autores a nível nacional têm executados diversos trabalhos e ensaios nesta área, definindo os parâmetros e as exigências relevantes para o cumprimento dos requisitos de compatibilidade para argamassas tradicionais (VEIGA, 2003, 2009, VEIGA, 2010). Apresenta-se de seguida o quadro resumo com os requisitos mecânicos e de comportamento face à água para argamassas de edifícios antigos aos 90 dias (Tabela 9)(VEIGA, 2010).

Tabela 9. Requisitos mecânicos e de comportamento face à água para argamassas de edifícios antigos aos 90 dias de maturação (VEIGA, 2010)

Tipo de Argamassa	Caracterização mecânica aos 90 dias (N/mm ²)			Comportamento à água	
	Rt	Rc	E	Sd (m)	C (Kg/m ² .min ^{1/2})
Argamassa de Exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	< 0,08	< 1,5 ; > 1,0
Argamassa de Interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	< 0,10	-
Argamassa de fechamento de junta	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	3000 - 6000	< 0,10	< 1,5 ; > 1,0

Rt – Resistência à Flexão; Rc – Resistência à Compressão; E – Módulo de Elasticidade; Sd – Espessura da camada de ar equivalente ao vapor de água; C – Coeficiente de Capilaridade

No presente trabalho usou-se três argamassas diferenciadas de forma aprofundar o estudo individual de cada formulação. Expõe-se de seguida, (Tabela 10), as formulações utilizadas.

Tabela 10. Formulações das argamassas utilizadas nos ensaios

Argamassa	Traço	Matérias-Primas Utilizadas				Abreviatura no trabalho
		Cal	Agregados	Aditivos		
				Metacaulino	Sepiolite	
CA	1.3	X	X	-	-	Argamassa 1
CA20MK	1.3	X	X	20 %	-	Argamassa 2
CA20MK5SE	1.3	X	X	20 %	5 %	Argamassa 3

Os traços utilizados nas argamassas foram da razão 1:3 (ligantes : agregados), sendo que nas argamassas com aditivos, metacaulino e sepiolite, subtraiu-se ao ligante a percentagem do aditivo adicionado correspondente. As percentagens utilizadas para o metacaulino foram de 20 % e para a sepiolite de 5 %. De forma a sintetizar o nome das argamassas e constituição das mesmas durante o presente trabalho, foram adotadas abreviaturas de forma a facilitar a sua identificação, nomeadamente, argamassa um (CA), argamassa dois (CA20MK) e argamassa três (CA20MK5SE).

6.5. Metodologia de Cura

Todos os sistemas realizados no presente de trabalho possuíram um período de secagem e respetivas condições de cura. Os moldes foram colocados numa câmara climática durante sete dias, em condições controladas de 20° C e 95 % H.R, cumprindo desta forma a norma de cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica (NP EN 12390-2, 2009). Posteriormente foram desenformados e os prismas foram colocados durante vinte e um dias em câmara climática com condições controladas de temperatura e humidade relativa, 20° C e 65 % respetivamente (Figura 53).

Relativamente aos restantes sistemas, três horizontais e dois verticais, foram colocados diretamente na câmara climática com as condições de 20° C de temperatura e 65 % de humidade relativa durante vinte e oito dias (Figura 54).



Figura 53. Cura de prismas na câmara climática 20 °C e 65 % HR



Figura 54. Cura dos sistemas verticais e horizontais na câmara climática 20 °C e 65 % HR

Após vinte e oito dias de cura os provetes foram retirados da respetiva câmara e transportados para realização do ensaio final na câmara climática.

6.6. Descrição dos Procedimentos de Ensaio

6.6.1. Registo Macroscópico das Alterações Ocorridas na Câmara Climática

Conforme referido anteriormente, o ensaio de envelhecimento acelerado decorreu em câmara climática durante cinco semanas. No total foram realizados 18 ciclos correspondentes ao “verão”, e igual valor para o “inverno”, alternadamente.

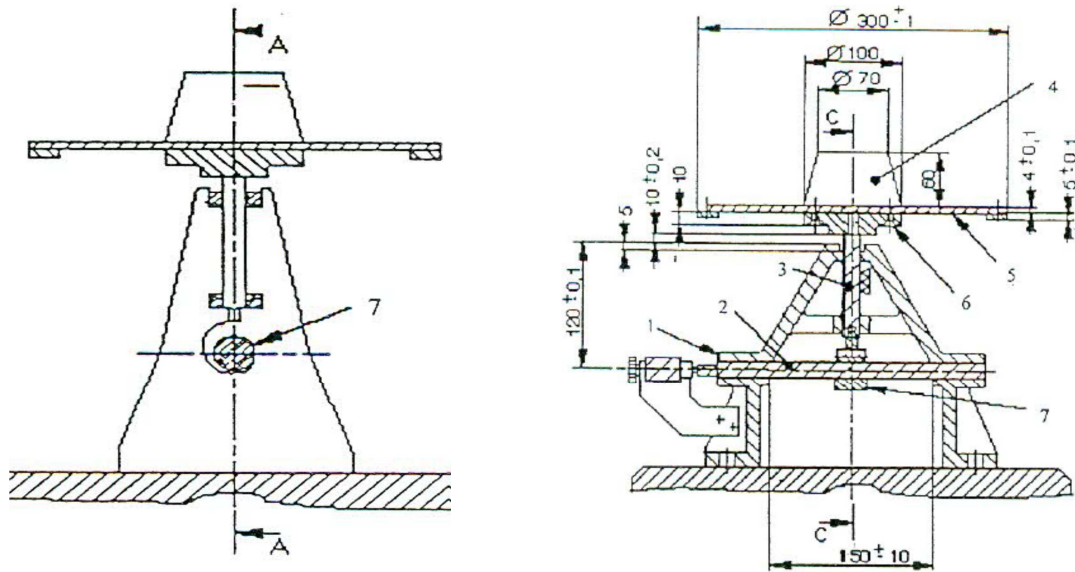
Durante o ensaio foram observados diariamente, através do vidro presente na câmara climática, as alterações que ocorreram durante o período de ensaio, sendo registadas as mesmas. Após termo do ensaio e respetiva abertura da câmara foram também recolhidas as anomalias apuradas a uma escala macroscópica.

6.6.2. Ensaio de Consistência por Espalhamento

As argamassas com o objetivo de serem aplicadas como revestimento devem ter a capacidade de ser de fácil aplicação, garantir uma ótima aderência e compatibilidade, ter bom rendimento e acabamento final satisfatório.

De forma a aumentar a trabalhabilidade de uma argamassa, se não forem integrados aditivos, pode-se intervir no nível do teor de agregados finos, do teor de ligante ou na quantidade de água de amassadura (VEIGA, 1998).

De forma a determinar a consistência das argamassas preparadas, parâmetro pelo qual pode-se de alguma forma avaliar a trabalhabilidade, realizou-se os critérios descritos na norma (EN 1015-3, 1998).



Legenda	
1 – Suporte	3 – Eixo de elevação
2 – Eixo horizontal	5 – Disco
4 – Molde troncocónico	7 – Eixo de excentricidade
6 – Tampa da mesa rígida	

Figura 55. Descrição do aparelho (EN 1015-3, 1998)

Após a homogeneização das matérias-primas a seco, foi adicionado 15 % de água. Iniciou-se o ensaio, utilizando o equipamento descrito na Figura 55, colocando-se o molde metálico no prato do equipamento onde se encontra gravado um círculo de 100 mm de diâmetro e 0,5 mm de profundidade de forma a centralizar o molde metálico (Figura 56). A argamassa fresca foi colocada dentro do molde, numa primeira etapa até metade da sua altura e compactada com um pilão com 10 pancadas e posteriormente enchido até ao seu limite e compactada novamente de forma a garantir um enchimento uniforme e, com uma espátula, foi retirado o excesso de argamassa (Figura 57). O molde foi retirado e seguidamente foram aplicadas quinze pancadas consecutivas, rodando a manivela do

equipamento; por último foi executada a medição do espalhamento das argamassas com um paquímetro. Na avaliação dos resultados considerou-se a média entre dois ensaios. Segundo a norma, se o desvio entre os dois ensaios for menores de 10 %, deve-se assumir os resultados, caso contrário é necessário refazer os procedimentos.

No primeiro ensaio realizado, o valor de referência do espalhamento foi de 120 mm + 10 mm. Valores desta magnitude são baixos (trabalhabilidade insuficiente) pelo que foi considerado que a percentagem de água era insuficiente. Desta forma, foi novamente repetido o ensaio descrito, corrigindo-se o valor da quantidade de água adicionada para 18 % obtendo-se resultados satisfatórios.



Figura 56. Equipamento utilizado no ensaio de espalhamento

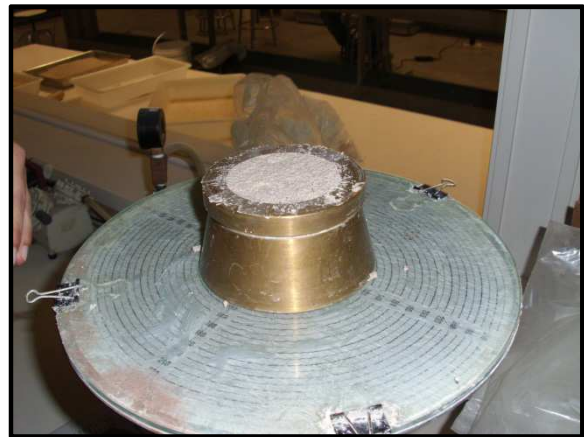


Figura 57. Argamassa fresca compactada dentro de molde metálico

6.6.3. Ensaio Módulo de Elasticidade Dinâmico

As argamassas de revestimento devem possuir uma reduzida retração e módulo de elasticidade baixo, de forma a garantir uma boa resistência à fendilhação e não transmitir tensões de tração elevadas ao suporte. Todavia, o módulo de elasticidade não deverá ser excessivamente pequeno, de forma a prevenir ações mecânicas sobre o suporte e desagregação do próprio reboco. O módulo de elasticidade está proporcionalmente relacionada com a resistência à tração, pois quanto maior for esta relação, maior será a tendência de fendilhação por retração (CAVACO, 2005, VEIGA, 1998).

Este ensaio consiste em transmitir uma aceleração de partículas num determinado corpo, que se irá propagar pelo mesmo em forma de onda de vibração.

A frequência de vibração, após percorrer o corpo na sua totalidade, será medida no polo diretamente oposto através de um aparelho específico.

Este ensaio foi realizado segundo a norma (BS 1881-209, 1990) (CAHIER 2669-4 CSTB, 1993), e os provetes usados possuíam as dimensões de 40x40x160 mm segundo as normas referidas anteriormente. O instrumento de frequência utilizado para medições (Figura 58) é da marca Erudite MKIV da CNS Farnell.

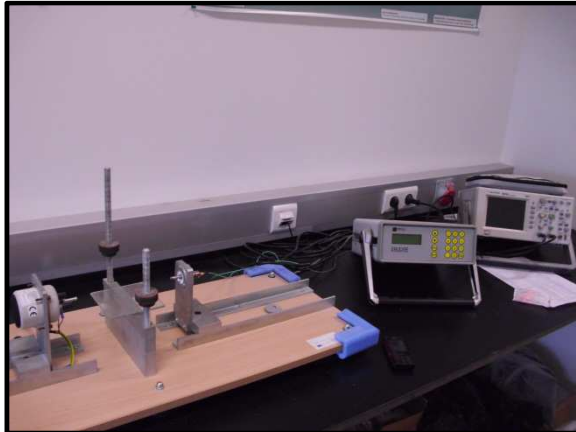


Figura 58. Equipamento utilizado no ensaio do módulo de elasticidade

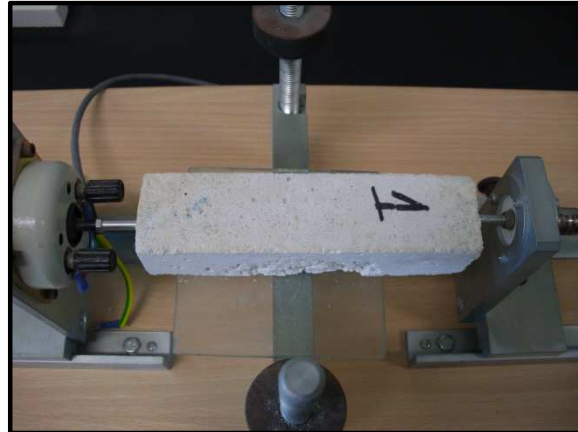


Figura 59. Proвете da argamassa um aos 90 dias sujeito a câmara climática, a ser ensaiado ao módulo de elasticidade

Desta forma, para determinar o módulo de elasticidade (E) em causa, colocaram-se dois elétrodos, longitudinalmente e diametralmente opostos em cada um dos provetes, sendo que para cada amostra foram realizadas três leituras (Figura 59) e obtidas as respetivas médias.

6.6.4. Ensaio de Resistência à Tração por Flexão

Após os ensaios do módulo de elasticidade, os mesmos provetes foram utilizados para realizar o ensaio de resistência à tração por flexão, devido ao primeiro ensaio não ser destrutivo. O ensaio da resistência à tração por flexão (R_f) decorreu segundo a norma (EN 1015-11, 1999). Para isso foi utilizado uma máquina universal de ensaios da marca SHIMADZU, modelo IC 100KN, (Figura 60), com uma célula de carga de 5 KN, utilizando uma velocidade de 10N/seg. Neste ensaio, o provete é colocado no equipamento sobre os sistemas de apoio, devidamente centralizado para que a força exercida seja aplicada perpendicularmente e a meio vão do provete.

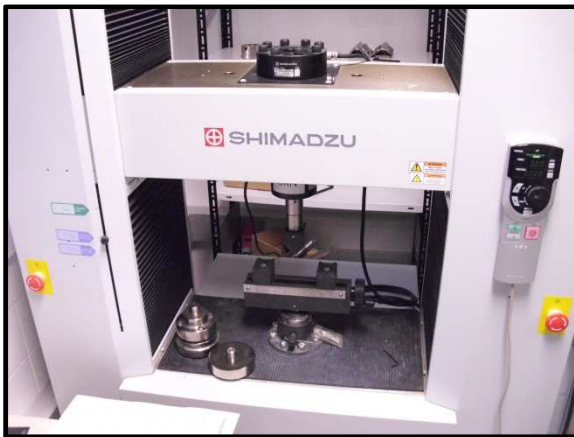


Figura 60. Equipamento utilizado no ensaio de resistência à tração por flexão



Figura 61. Provete da argamassa um aos 60 dias, a ser ensaiado à tração por flexão

A força aplicada tem um deslocamento constante, ficando desta forma os provetes sujeitos a um esforço de flexão até atingir o início da sua rotura (Figura 61). A resistência à flexão é calculada usando a seguinte expressão (5):

$$R_f = 1,5 \times \frac{F \times l}{b \times d^2} \quad [N/mm^2] \quad (5)$$

Em que:

F = carga máxima aplicada, [N];

l = distância entre os eixos de apoio do provete, [100mm];

b = largura do provete, [40mm];

d = espessura do provete, [40mm];

6.6.5. Ensaio Profundidade de Carbonatação

O ensaio de profundidade de carbonatação tem como objetivo a avaliação da espessura carbonatada nas quatro arestas dos provetes. Para determinar a evolução de profundidade de carbonatação, utilizou-se um indicador de pH - fenolftaleína.

Este ensaio foi efetuado imediatamente após o ensaio anterior de onde resultaram duas metades do provete. O ensaio foi realizado nas novas faces (40 mm x 40 mm) e foi aplicada através do auxílio de um esguicho.

Após a aplicação da solução, verificam-se duas zonas distintas, uma aérea carbonatada que apresenta-se incolor ($\text{pH} < 8$), e aéreas parcialmente e não carbonatadas que se apresentavam a cor-de-rosa (≥ 8 e < 10) e a cor roxa (≥ 10), respetivamente. De seguida, com recurso a um paquímetro, foram realizadas as medições de profundidade de frente de carbonatação.

6.6.6. Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão (R_c), decorreu segundo a norma (EN 1015-11, 1999), sendo que no presente ensaio foi utilizado uma metade do provete resultante do ensaio de resistência à tração por flexão e utilizada no ensaio de profundidade de carbonatação, não interferindo de qualquer forma nos presentes resultados devido a este último não ser destrutivo.

À semelhança do ensaio de resistência à tração por flexão foi utilizado uma máquina universal de ensaios da marca SHIMADZU, modelo IC 100KN, Figura 62, com uma célula de carga de 5 KN, mas empregando-se uma velocidade de 50N/seg.



Figura 62. Ensaio de resistência à compressão



Figura 63. Prismas resultantes do ensaio de resistência à compressão das argamassas sujeitas à câmara climática

Neste ensaio, a metade do provete é colocado sobre um perfil metálico na parte inferior do equipamento, (Figura 62), aplicando-se de seguida uma força contínua até o início da sua rotura. Após a sua rotura e retirada de parte do material comprimido, podemos verificar os prismas resultantes do ensaio (Figura 63). A resistência à compressão é calculada usando a seguinte expressão (6):

$$R_c = \frac{F}{A_c} [N/mm^2]$$

(6)

Em que:

F= carga máxima aplicada, [N];

A_c = área de carga, [mm²].

Como o provete tem as dimensões de 40mm x 40mm, substituído na expressão a A_c , determina-se a seguinte expressão (7):

$$R_c = \frac{F}{A_c} = \frac{F \times 1000}{40 \times 40} = 0,625 \times F [M/Pa]$$

(7)

6.6.7. Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

Por meio do ensaio de absorção de água por capilaridade (C) é possível determinar a quantidade de água absorvida por um material poroso hidrófilo, quando o líquido se encontra em contacto com o material, podendo ser calculado o coeficiente de capilaridade. Cada material tem um distinto coeficiente que é traduzido pela massa de água absorvida por capilaridade num determinado limite de tempo, por unidade de área em contacto com a água, dividida pela subtração entre raízes quadradas dos dois limites do intervalo de tempo ponderado (FREITAS, 2008, VEIGA, 1998).

Para a realização deste ensaio, utilizou-se o procedimento desenvolvido pelo LNEC, descrito na Ficha de Ensaio FE PA 40.1 - Ensaio de absorção de água por capilaridade para amostras irregulares e friáveis (LNEC, 2005). O ensaio consiste em colocar uma amostra dentro de um cesto de rede (não utilizado neste ensaio) com geotêxtil em contacto com água dentro de um tabuleiro, são efetuadas pesagens ao longo de um determinado intervalo de tempo para determinar a quantidade de água absorvida pela mesma.

No presente trabalho as amostras utilizadas foram as metades dos provetes resultantes do ensaio de resistência à tração por flexão.

Previamente, as amostras foram secas em estufa a uma temperatura de 60 ± 5 °C durante vinte e quatro horas, sendo que após a secagem das mesmas, foram deixadas arrefecer no exsiccador com sílica gel até atingirem a temperatura ambiente.

As amostras, com a seção de $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ e aproximadamente de 40 mm de altura, foram inicialmente pesadas (massa do provete seco) e seguidamente colocadas sobre o geotêxtil saturado com água (água com a mesma altura do geotêxtil) dentro de um tabuleiro metálico e registado o aumento de peso ao longo do tempo (Figura 64). Antes de efetuar cada pesagem foi removida a quantidade água não absorvida, que se encontra na base inferior da amostra, através da passagem do provete sobre um geotêxtil humedecido. Realizou-se o acompanhamento da variação do peso de cada amostra e registado a temperatura e humidade relativa ambiente durante o ensaio (absorção e secagem) com um termohigrómetro. A temperatura variou entre os máximos de 20.3 °C e 83 % humidade relativa e o mínimo de 17,4 °C e 63 % de humidade relativa. Depois de registado a absorção das amostras até verificar-se à saturação, foi iniciada a secagem das amostras (Figura 65) até atingir um peso constante (equilíbrio higroscópico).



Figura 64. Ensaio de absorção por capilaridade das argamassas sujeitos à câmara climática aos 90 dias



Figura 65. Secagem das amostras das argamassas sujeitos à câmara climática aos 90 dias

O coeficiente de capilaridade por contacto (Ccc) (Tabela 15; Tabela 16; Tabela 17) foi determinado segundo o mesmo procedimento desenvolvido pelo (LNEC, 2005), (Ficha de Ensaio - FE PA 40.1.), sendo o resultado expresso em $\text{Kg/m}^2/\text{min}^{1/2}$. Este valor corresponde à razão entre a massa de água absorvida pela amostra por unidade de área entre o intervalo t_1 e t_0 e a diferença entre as raízes quadradas desses tempos, ou seja, pelo período de tempo em que a amostra demorou a ficar saturada.

O procedimento diz que os tempos mais relevantes são os períodos de $\sqrt{5 \text{ min}}$ e entre os $\sqrt{10 \text{ min}}$ e $\sqrt{90 \text{ min}}$. O valor é obtido pela através expressão (8):

$$C_{cc} = \left(\frac{M1 - M0}{\sqrt{t1} - \sqrt{t0}} \right) \quad (8)$$

Em que:

- M0 = valor da massa inicial, em gramas;
- M1 = valor da massa final, em gramas;
- $\sqrt{t1}$ = valor do tempo inicial, em minutos;
- $\sqrt{t0}$ = valor do tempo final, em minutos.

6.6.8. Ensaio de Absorção de Água Sob Baixa Pressão

As juntas entre azulejos têm como função ter boa resistência à penetração de água líquida, boa permeabilidade ao vapor de água e acomodar as variações dimensionais induzidas pela temperatura e pela humidade. Quando o material de junta perde as suas características devido à ação pelos diversos agentes de degradação, estas áreas funcionam como meio de ligação do exterior para o interior, permitindo a infiltração de água.

De forma a verificar a degradação das juntas dos sistemas elaborados, após o ensaio à câmara climática dos sistemas e provetes foi realizado um ensaio onde foram aplicados tubos de Karsten, da marca MOHREN. Utilizou-se o procedimento desenvolvido no LNEC, descrito na Ficha de Ensaio - FE PA 39.1 - Revestimentos de Paredes, Ensaio de Absorção de Água Sob Baixa Pressão (LNEC, 2002). O ensaio consiste na verificação do volume de água absorvido, sob baixa pressão, pelas juntas entre azulejos. Os tubos de Karsten podem ser utilizados em superfícies verticais ou em superfícies horizontais (Figura 66).

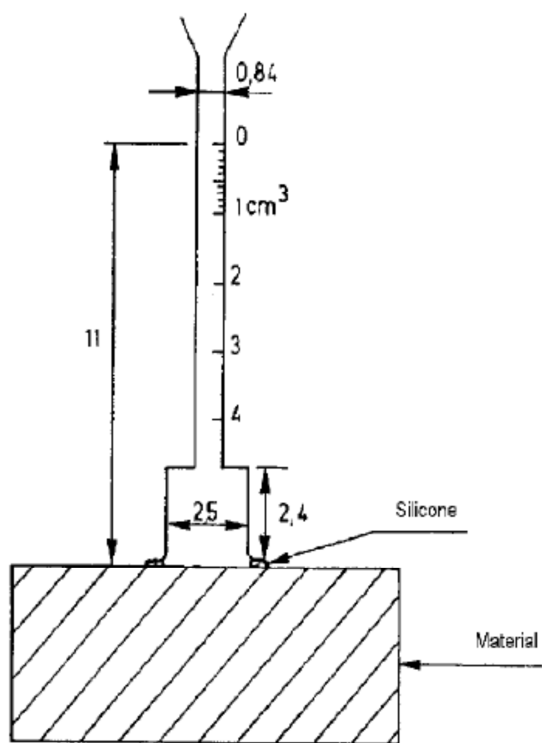


Figura 66. Especificações do tubo de Karsten para ensaio em superfícies horizontais segundo a ficha do procedimento FE PA 40.1.



Figura 67. Ensaio de aplicação dos tubos de Karsten no sistema 2 sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.

Para a aplicação e selagem dos tubos foi utilizado plasticina de forma a evitar a perda de qualquer volume de água. Teve-se o cuidado de o selante não ter uma área superior à do interior do próprio cachimbo, de forma a não diminuir a área de contacto. Seguidamente foram enchidos os tubos com água (Figura 67) até a graduação indicada de 0 cm^3 e registou-se o tempo em segundos (s) que demorava a absorver 1 cm^3 , 2 cm^3 , 3 cm^3 e 4 cm^3 . Os sistemas em ensaio tinham a idade de 90 dias e estiveram sujeitos às condições da câmara climática, já descritas anteriormente.

Devido à degradação manifestada pelas juntas entre azulejos, foram escolhidas dois locais para cada sistema, tendo-se nomeado zona um (Z1) e zona dois (Z2). A zona Z1 é uma região que, macroscopicamente, aparentava menores sinais de degradação (Figura 68), ou seja, apesar de a degradação ser manifesta, a área ainda possuía argamassa e encontrava-se fechada. Zona Z2, caracteriza-se pelo local onde se verificou que a degradação do sistema era maior (Figura 69), ou seja, juntas profundamente degradadas e em alguns casos particularmente sem argamassa entre azulejos.



Figura 68. Exemplo de junta de zona Z1 onde foi efetuado o ensaio de absorção de água sob baixa pressão, sistema dois



Figura 69. Exemplo de junta de zona Z2 onde foi efetuado o ensaio de absorção de água sob baixa pressão, sistema três

6.6.9. Ensaio de Arrancamento por Tração (*Pull-Off*)

Em alguns sistemas mesmo antes de se iniciar este tipo de ensaio verifica-se o desprendimento e descolamento de azulejos aplicados, assim alguns resultados caracterizam o estado após o envelhecimento. Estas anomalias podem ocorrer ao nível da ligação do suporte à argamassa ou da argamassa ao acabamento. Os destacamentos, aliados aos agentes de degradação já abordados, podem originar degradações severas ou mesmo a queda dos materiais. Nestas situações pode ocorrer o desprendimento na interface azulejo/argamassa, argamassa/suporte (tijolo no presente caso) ou mesmo pela perda de coesividade da argamassa, podendo originar desprendimentos do conjunto (azulejo/argamassa) ou apenas do azulejo. A falta de aderência da argamassa ao suporte pode ocorrer devido a fatores intrínsecos ao suporte, como a falta de rugosidade superficial, teores de humidade inicial elevados e porosidade baixa. Quanto aos materiais, depende da sua constituição, espessuras, idades e fundamentalmente as condições atmosféricas no período de aplicação (FLORES-COLEN, 2007).

De forma a avaliar a aderência dos azulejos aplicados nos sistemas 1, 2 e 3, sujeitos às condições da câmara climática, foi realizado o ensaio de arrancamento pull-off - resistência ao arrancamento por tração.

Como referido anteriormente, recorreu-se a uma empresa exterior para efetuar os cortes circulares no centro dos azulejos com um diâmetro de 5 cm (em três azulejos originais e três réplicas). O corte foi realizado utilizando uma máquina de jacto de água com abrasivo (areia). As duas peças foram aplicadas em simultâneo e logo após a aplicação a argamassa de junta (entre as peças) foi usado um material impermeável, silicone, de forma a simular uma carbonatação similar ao acabamento vítreo dos azulejos.

Para a realização deste ensaio utilizou-se o procedimento desenvolvido pelo LNEC, descrito pela Ficha de Ensaio - FE PA 36. - Revestimentos de Paredes, Ensaio de Arrancamento por Tração (LNEC, 1986). À seção circular do azulejo foi colado uma pastilha metálica com um diâmetro de 5 cm, de forma a garantir unicamente a extração desse material (Figura 71). A tensão de aderência foi calculada usando a seguinte expressão (9):

$$\sigma_a = \frac{F}{A} \text{ [MPa]} \quad (9)$$

Em que:

σ_a = Tensão de aderência em [MPa];

F = Força de rotura em [N];

A = Área em [mm²].

Desta forma foram coladas as respetivas seis pastilhas metálicas circulares, três em cortes de azulejos originais e três em cortes de reproduções. Foi utilizado uma máquina universal de ensaios da marca SHIMADZU, modelo IC 100KN (Figura 70), com uma célula de carga de 5 KN, aplicando uma força de tração com velocidade de 1 mm/min para efetuar o respetivo arrancamento da pastilha.



Figura 70. Equipamento utilizado no ensaio de arrancamento por tração



Figura 71. Seção circular do azulejo com pastilha metálica resultante do ensaio de arrancamento por tração no sistema três – azulejo réplica

6.7. Resultados de Ensaio

6.7.1. Alterações Ocorridas na Câmara Climática

Durante o ensaio decorreram alterações quer nos sistemas (verticais e horizontais) quer nos provetes, sendo exceção os dois azulejos que encontravam-se por aplicar e que serviam como elementos de referência, nestes não ocorreram qualquer tipo de degradação (Figura 82). A primeira alteração a ser observada ocorreu durante o final do quarto ciclo de “verão” (oitavo ciclo), onde foi possível verificar que no sistema vertical que continha as réplicas, uma se encontrava destacada do suporte (Figura 72). Este destacamento ocorreu numa réplica assente com a argamassa um (CA).

Visto não ter sido detetado mais nenhum destacamento nos sistemas verticais até fim do ensaio, pode-se concluir que esta argamassa não apresenta bom comportamento nas idades jovens, quando aplicada em réplicas. É provável que a porosidade aberta destes cerâmicos possa interferir decisivamente na adesividade da argamassa ao azulejo.



Figura 72. Pormenor do sistema um vertical com réplicas, onde é possível visualizar o destacamento de um azulejo assente com a argamassa um ao oitavo ciclo de envelhecimento.

De referir que durante os ensaios, no ciclo de “verão”, quando a temperatura estava estabilizada nos 60 °C, verificava-se condensação sobre o vidro dos azulejos apenas nos sistemas horizontais. Ao final do ciclo doze foi perceptível identificar o início de microfissurações nos provetes prismáticos da argamassa um, sendo que para a argamassa dois esta anomalia foi detetada ao final do ciclo quinze. Na argamassa três não foi identificada qualquer tipo de fissuração até ao termo do ensaio.

Após o termo do ensaio (abertura da câmara) foi possível verificar alterações em todos os sistemas e provetes com maior grau de precisão a nível macroscópico. Salienta-se que estas alterações eram em maior quantidade e expressividade na argamassa um (CA) e com menor na argamassa três (CA20MK5SE). A única exceção prende-se com o sistema horizontal dois, onde foi possível verificar que os azulejos originais apresentavam maiores alterações no que diz respeito ao vidro.

Todos os provetes apresentavam microfissurações sendo estas em maior número na argamassa um (Figura 73), algumas na argamassa dois (Figura 75) e muito raras nos provetes da argamassa três, sendo visíveis somente quando foram retirados na câmara climática (Figura 76). Nos provetes das argamassas um, ocorreu mesmo perda de massa, conforme perceptível na Figura 74.



Figura 73. Pormenor dos provetes de argamassa um após ensaio de envelhecimento



Figura 74. Pormenor dos provetes de argamassa um após ensaio de envelhecimento, vista lateral



Figura 75. Pormenor dos provetes de argamassa dois após ensaio de envelhecimento



Figura 76. Pormenor dos provetes de argamassa três após ensaio de envelhecimento

Em relação aos sistemas horizontais verificou-se que os azulejos assentes com a argamassa um se encontravam com ligeiro destacamento, verificado por auscultação através de batimento suave com os nós dos dedos sobre os vidrados e registado pelo som a “oco” que apresentavam, sendo este som cavo característico de falta de adesão.

No sistema horizontal dois (Figura 77) verificou-se que existia um empolamento em forma de barriga, sendo que conseqüentemente, e devido às forças a que os azulejos foram sujeitos, estes apresentavam maiores alterações ao nível do vidrado, ocorrendo mesmo o esmagamento dos bordos dos azulejos devido às tensões que absorveram (Figura 78).



Figura 77. Pormenor do empolamento detetado no sistema horizontal dois



Figura 78. Pormenor de destacamento e esmagamento de vidro ao nível do bordo do azulejo original

Este tipo de alteração foi ainda possível verificar nos sistemas horizontais um (Figura 79) e três (Figura 80), mas de forma menos expressiva, quando comparados com o sistema dois horizontal.



Figura 79. Pormenor de destacamento de vidrado no sistema horizontal um



Figura 80. Pormenor de destacamento de vidrado no sistema horizontal três

É ainda de sublinhar que os destacamentos de vidrados se encontravam tanto em azulejos originais como em réplicas. Através da análise dos resultados, pode-se concluir, que os destacamentos de vidrados presentes nas réplicas, poderão não derivar da ação de cristalização de sais, criptoeflorescências, visto que as argamassas foram executadas com areias lavadas e as réplicas nunca tinham sido aplicadas. Por outro lado, poderá ter existido migração de sais tanto dos azulejos originais como do cimento utilizado na realização da base dos sistemas. Desta forma é difícil concluir corretamente qual a origem desta alteração.



Figura 81. Pormenor de craquelé no sistema horizontal dois



Figura 82. Pormenor dos azulejos de referência, após ensaio de envelhecimento

Foram ainda registadas alterações nos vidrados, todos os azulejos dos sistemas horizontais apresentavam craquelé (Figura 81) quer os azulejos originais quer as réplicas, esta alteração não foi registada nos sistemas verticais ou nos azulejos de referência sem argamassas.

Desta forma, pode-se afirmar que o facto de esta alteração surgir nos sistemas horizontais e não nos restantes poderá estar diretamente relacionada a forças de confinamento a que os azulejos estiveram sujeitos.

As argamassas que se encontravam nas juntas dos sistemas horizontais sofreram lixiviação e conseqüente lavagem, sendo este fenómeno de alteração registado em todos os sistemas horizontais (Figura 83) (Figura 84).

Esta falta de argamassa de juntas encontrava-se em algumas zonas dos sistemas, não tendo desta forma, sido toda removida pelo fenómeno anteriormente referido.



Figura 83. Pormenor da remoção de argamassa de junta no sistema um após ensaio de envelhecimento



Figura 84. Pormenor da remoção de argamassa de junta no sistema três após ensaio de envelhecimento

Em suma, os resultados macroscópicos (preliminares) indicam as seguintes anomalias: destacamento, empolamento, perda de coesão e esmagamento na interface azulejos/argamassas. Relativamente as alterações do vidrado dos azulejos verificaram-se as seguintes alterações: destacamento, empolamento, perdas de vidrado e fissurações. Os provetes prismáticos demonstraram início de microfissurações e uma certa arenização. Relativamente aos elementos colocados na vertical, um dos azulejos, réplica, aplicado com argamassa à base cal hidratada e areia destacou-se do suporte, caindo do sistema, ao final do oitavo ciclo.

6.7.2. Consistência por Espalhamento

Os resultados obtidos no presente ensaio foram de 150 ± 10 mm (Tabela 11) e conclui-se que estes valores eram aceitáveis, pois o intervalo de espalhamento encontrava-se entre o intervalo de 140 - 160 mm. O processo referido anteriormente, foi realizado para as três argamassas em estudo, sendo que a quantidade de água utilizada foi igual para as três formulações em causa.

Tabela 11. Quantidade de água utilizada

Argamassa	Percentagem de água	Espalhamento	Trabalhabilidade
Argamassa 1	15 %	120 mm	Não Adequada
Argamassa 1	18 %	147 mm	Adequada
Argamassa 2	18 %	155 mm	Adequada
Argamassa 3	18 %	150 mm	Adequada

Consecutivamente foram aplicadas as referidas argamassas nos sistemas mencionados no capítulo 6.2.2. Para cada tipo de argamassa foram utilizados moldes metálicos para efetuar o preenchimento dos provetes prismáticos para posteriores ensaios, conforme referido no capítulo 6.2.2, aplicando a respetiva norma (EN 1015-2, 1998).

6.7.3. Módulo de Elasticidade Dinâmico

Apresenta-se de seguida, Figura 85, os resultados obtidos neste ensaio para as idades de 28, 60, 90 e 120 dias e dos provetes sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.

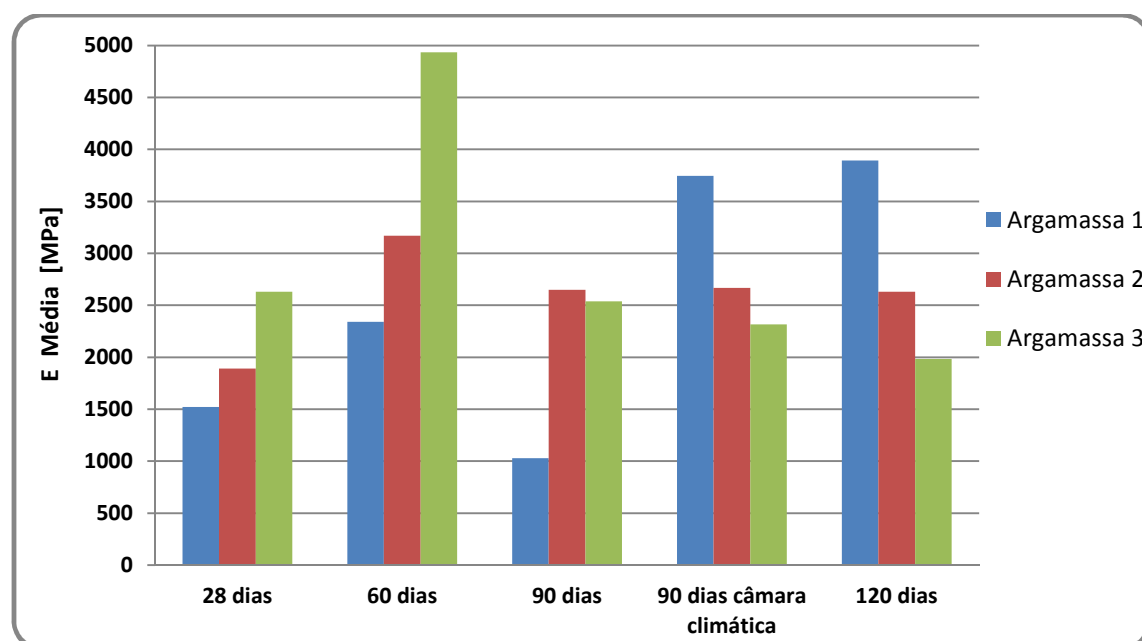


Figura 85. Módulo de elasticidade das argamassas aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Através da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que argamassa um (CA) apresenta uma evolução, atingindo o seu módulo máximo de elasticidade aos 120 dias em valores próximos dos 4000 MPa.

As argamassas dois (CA20MK) e três (CA20MK5SE), com os respetivos aditivos introduzidos, apresentam um aumento de valores contínuos até aos 60 dias, atingindo nesta idade os seus módulos de elasticidade máximos. A argamassa dois apresenta valores próximos dos 5000 MPa e de 3200 MPa para a argamassa três. As argamassas com aditivos, a partir da idade dos 60 dias diminuem progressivamente de elasticidade, sendo a sua redução mais acentuada no caso da argamassa com metacaulino e sepiolite. Em todo o caso, os valores encontram-se em redor dos 2000 MPa.

Em relação ao módulo de elasticidade das argamassas submetidas à câmara climática, conclui-se que as argamassas aos 120 dias apresentam valores idênticos às que não foram submetidas ao envelhecimento, sendo a argamassa um a exceção, uma vez que apresenta valores máximos na ordem dos 3700 MPa. Desta forma, podemos verificar que os valores obtidos aos 120 dias são idênticos aos das argamassas submetidas à câmara climática aos 90 dias, manifestando um comportamento apropriado ao *stress* incitado pela variação dos ciclos de temperatura e humidade relativa.

Conforme apresentado na Tabela 9, os valores aos 90 dias do módulo de elasticidade deveriam encontra-se no intervalo de 2000 MPa e os 5000 MPa. Podemos desta forma concluir que as argamassas dois e três cumprem os requisitos solicitados. Relativamente às argamassas sujeitas as condições da câmara climática, as três estão compreendidas entre os intervalos propostos, sendo os mesmos cumpridos para idades superiores, nomeadamente aos 120 dias.

6.7.4. Resistência à Tração por Flexão

Os resultados obtidos neste ensaio para as idades de 28, 60, 90 e 120 dias e dos provetes sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias, são expostos de seguida na Figura 86.

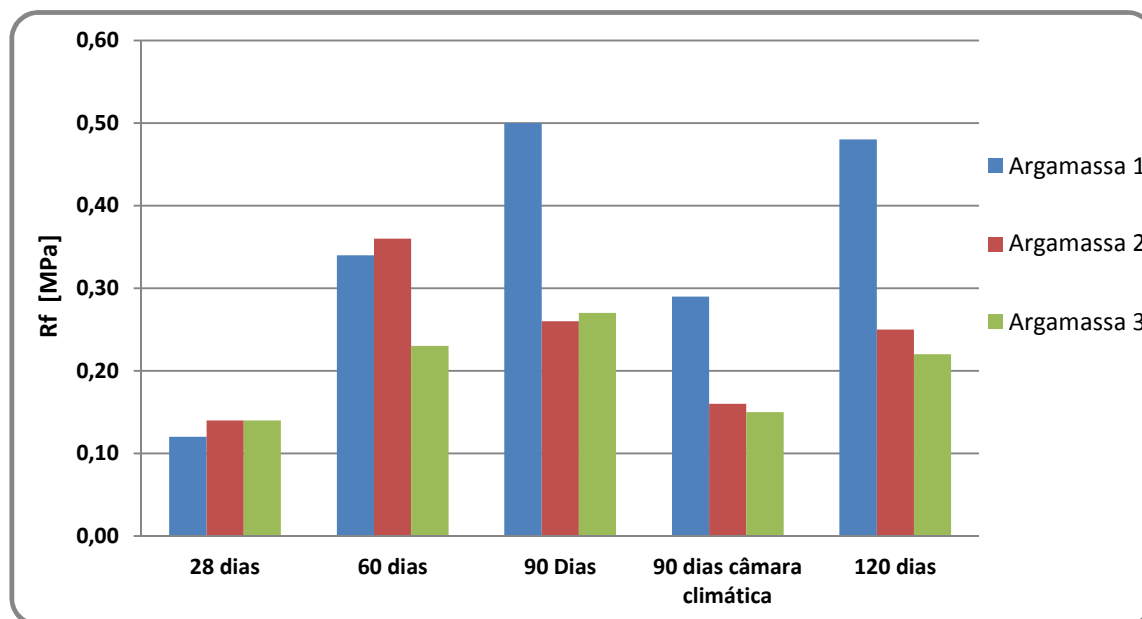


Figura 86. Resistência à flexão das argamassas aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Pode-se concluir, pela análise dos resultados que a argamassa um (CA) têm uma evolução contínua, dos 28 aos 90 dias atingindo o seu máximo de 0,50 MPa, permanecendo com valores idênticos aos 120 dias. As argamassas com aditivos, dois (CA20MK) e três (CA20MK5SE), apresentam um aumento contínuo da sua resistência até aos 60 dias, atingindo valores máximos de 0,36 MPa e 0,27 MPa aos 90 dias respetivamente, regredindo posteriormente.

Aos 120 dias estas argamassas apresentam valores inferiores de resistência à tração por flexão em relação à argamassa um.

Neste ensaio todas as argamassas submetidas à ação da câmara climática obtiveram uma diminuição da sua resistência na ordem dos 20 a 45 % em relação as argamassa com igual idade. A argamassa um, sujeita a variação dos ciclos climáticos da câmara foi a que apresentou menor redução da sua resistência.

Conforme apresentado na Tabela 9, os valores aos 90 dias da resistência à tração por flexão deveriam encontra-se no intervalo de 0,2 MPa e os 0,7 MPa. Podemos desta forma concluir que as três argamassas cumprem os requisitos solicitados. Relativamente às argamassas sujeitas à câmara climática, as argamassas dois e três não estão compreendidas entre os intervalos propostos, sendo que argamassa um apresenta valores razoáveis. Para idades superiores, nomeadamente aos 120 dias, todas argamassas apresentam valores satisfatórios.

6.7.5. Profundidade de Carbonatação

Apresenta-se de seguida, Tabela 12; Tabela 13; Tabela 14, os resultados obtidos nos ensaios de profundidade de carbonatação, para as idades de 28, 90, 120 dias e dos provetes sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.

Tabela 12. Carbonatação da argamassa um aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática





Argamassa 1			
Idade	Local de carbonatação	Medidas [mm]	Imagem
28 dias	4 bordos	3x4x3x4	
90 dias	4 bordos	7x7x8x8	
90 dias câmara climática	4 bordos	6*5*5*6	
120 dias	4 bordos	11,5*10,5*11,5*11,5	

Tabela 13. Carbonatação da argamassa dois aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

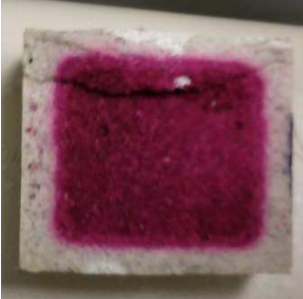




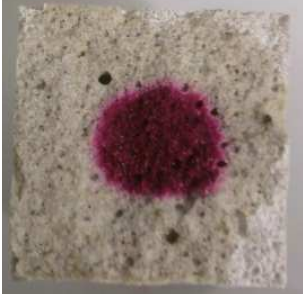


Argamassa 2			
Idade	Local de carbonatação	Medidas [mm]	Imagem
28 dias	4 bordos	4x4x4x4	
90 dias	4 bordos	10x9x9x10	
90 dias câmara climática	4 bordos	9*9*10*9	
120 dias	4 bordos	14*14*14*14	

Tabela 14. Carbonatação da argamassa três aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Argamassa 3			
Idade	Local de carbonatação	Medidas [mm]	Imagem
28 dias	4 bordos	4,5x4,5x4,5x4,5	
90 dias	4 bordos	12x11x12x12	
90 dias câmara climática	4 bordos	10*11*11*10	
120 dias	4 bordos	16*16*16*16	

Pode-se concluir que todas as argamassas em estudo apresentam uma evolução contínua dos níveis de carbonatação ao longo do tempo, conforme gráfico de resumo que se apresenta de seguida (Figura 87).

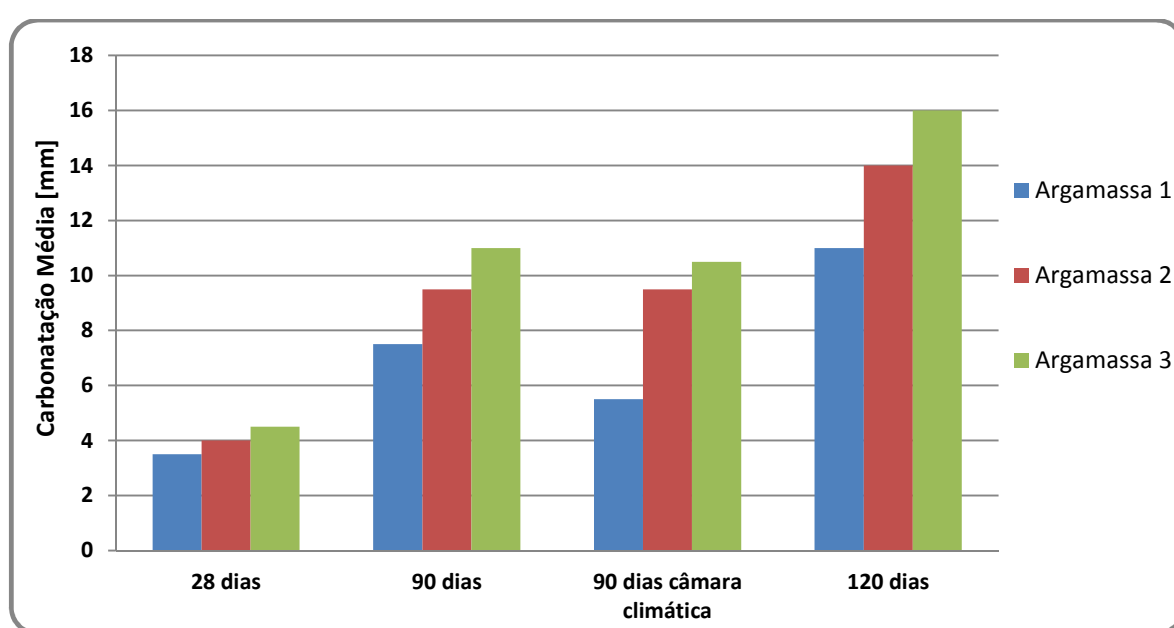


Figura 87. Carbonatação média das argamassas aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

A argamassa um (CA) é a que apresenta menor valor de carbonatação das formulações estudadas, atingindo o seu valor médio máximo aos 120 dias com 11 mm de carbonatação. A argamassa três (CA20MK5SE) é a que apresenta maior valor de carbonatação, atingindo o seu valor máximo de 16 mm de carbonatação e de 14 mm para a argamassa dois (CA20MK).

Em relação ao ensaio de profundidade de carbonatação, das argamassas submetidas as condições da câmara climática, conclui-se que a argamassa um sofreu uma menor carbonatação na ordem dos 2 a 3 mm em comparação com as argamassas da mesma idade que não foram sujeitas à variação dos ciclos climáticos da câmara. Estes valores poderão estar relacionados com exposição a valores de humidade relativa elevados. A argamassa dois e três, com os respetivos aditivos introduzidos, tiveram valores similares de carbonatação, não existindo desta forma diferenças significativas relativamente às argamassas que não sofreram qualquer tipo de fator de degradação aos 90 dias, sendo que as reações hidráulicas não foram afetadas pela presença da humidade, inversamente ao observado na argamassa um.

6.7.6. Resistência à Compressão

Na Figura 88, apresentam-se os resultados obtidos neste ensaio para as idades de 28, 60, 90, 120 dias e dos provetes sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.

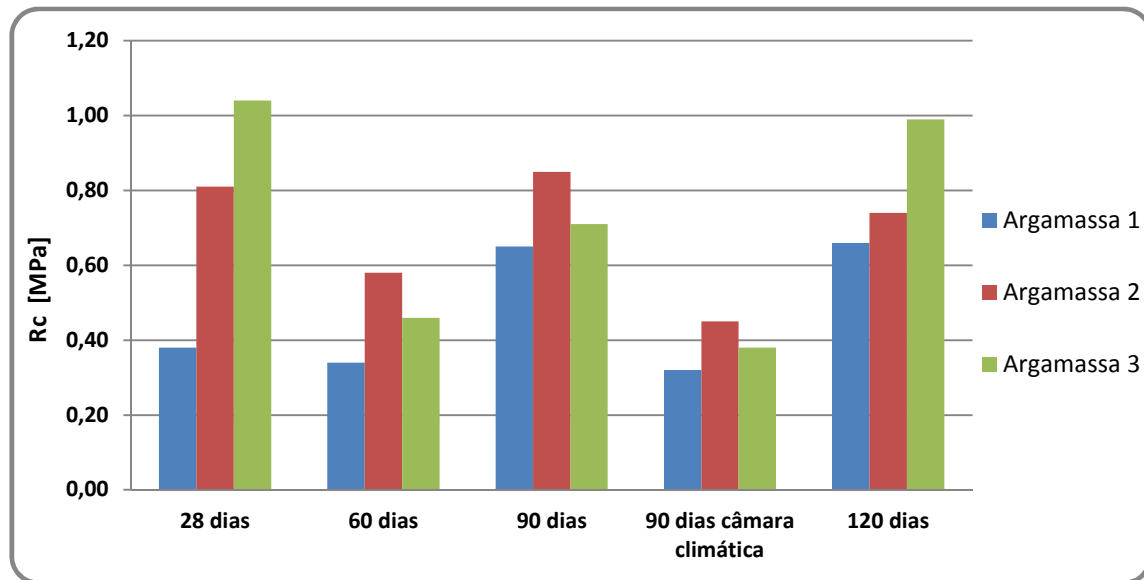


Figura 88. Resistência à compressão das argamassas aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Conclui-se através da análise dos resultados obtidos que argamassa um (CA) é a que apresenta sempre os valores menores de resistência à compressão ao longo do tempo, mas aumentado o seu valor progressivamente, atingindo o seu máximo aos 120 dias com valores da ordem dos 0,66 MPa. As argamassa dois (CA20MK) e três (CA20MK5SE), com a introdução dos respetivos aditivos, apresentam sempre valores superiores de resistência desde o primeiro ensaio em relação à argamassa um (CA), verificam-se desde logo aos 28 dias diferenças superiores a 0,50 MPa. A argamassa três é a que apresenta o maior valor de resistência à compressão 1,04 MPa aos 28 dias, seguidamente da argamassa dois de 0,85 MPa aos 90 dias.

Em relação ao ensaio de resistência à compressão dos prisma submetidos à câmara climática, conclui-se que todas as formulações obtiveram a diminuição da sua resistência na ordem dos 50 % em relação as argamassa com igual idade e que tiveram uma cura normal. A argamassa um foi a que apresentou menor valor de resistência à compressão. A argamassa dois apresentou o maior valor de resistência à compressão seguida da argamassa três, obtendo valores da ordem dos 0,40 MPa aos 90 dias.

Os valores obtidos são coerentes com os atingidos pelas argamassas que não estiveram sujeitas ao envelhecimento com idade de 60 dias, podendo isto expressar uma degradação da resistência das argamassas pelas solicitações a que estiveram sujeitas, comportamento expectável.

Conforme apresentado na Tabela 9 os valores aos 90 dias da resistência à compressão deveriam encontra-se no intervalo de 0,4 MPa e os 2,5 MPa. Conclui-se que as três argamassas comprem os requisitos apontados. Relativamente às argamassas sujeitas às condições da câmara climática, os valores obtidos para as argamassas um e três não estão compreendidos entre os intervalos propostos, sendo que argamassa dois apresenta valores razoáveis. Para idades superiores, nomeadamente aos 120 dias, todas argamassas apresentam valores satisfatórios.

6.7.7. Absorção de Água por Capilaridade

Apresentam-se de seguida os resultados obtidos para as idades de 28, 90 e 120 dias e dos provetes sujeitos à ação da câmara climática aos 90 dias da argamassa um (Figura 89), dois (Figura 90) e três (Figura 91).

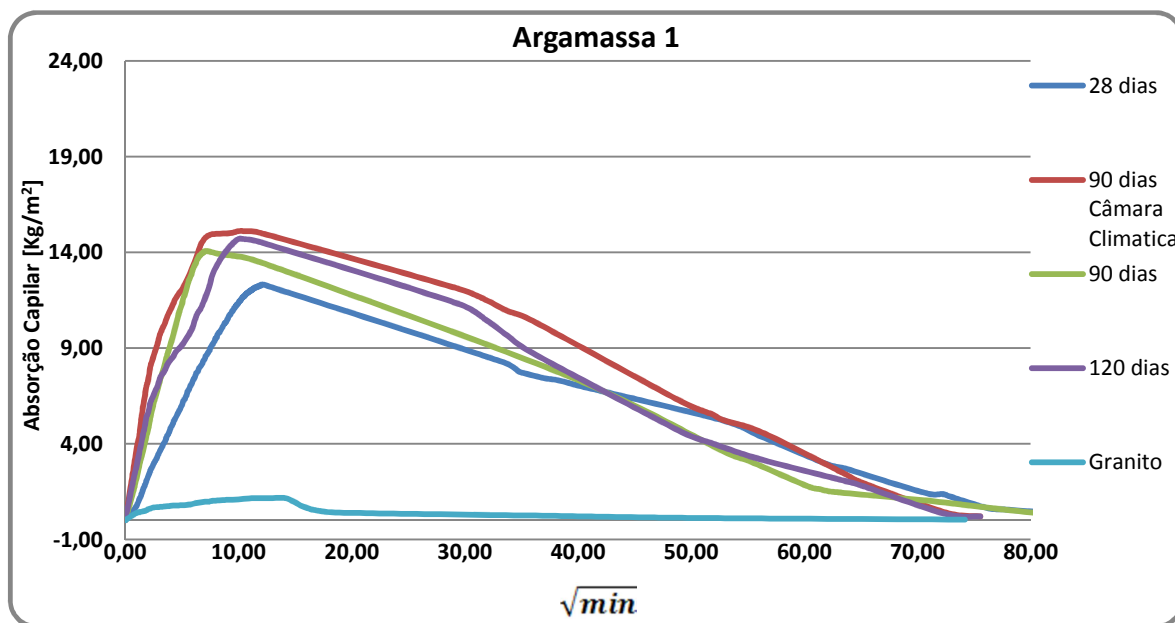


Figura 89. Absorção de água por capilaridade e secagem da argamassa um aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.

Tabela 15. Coeficiente de capilaridade por contacto da argamassa um aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática. Coeficiente do granito utilizado nos sistemas.

Argamassa 1					
Idade [dias]	28 dias	90 dias C. Climática	90 dias	120 dias	Granito
Ccc [Kg/m ² /min ^{1/2}]	1,04	1,30	1,79	1,12	0,06

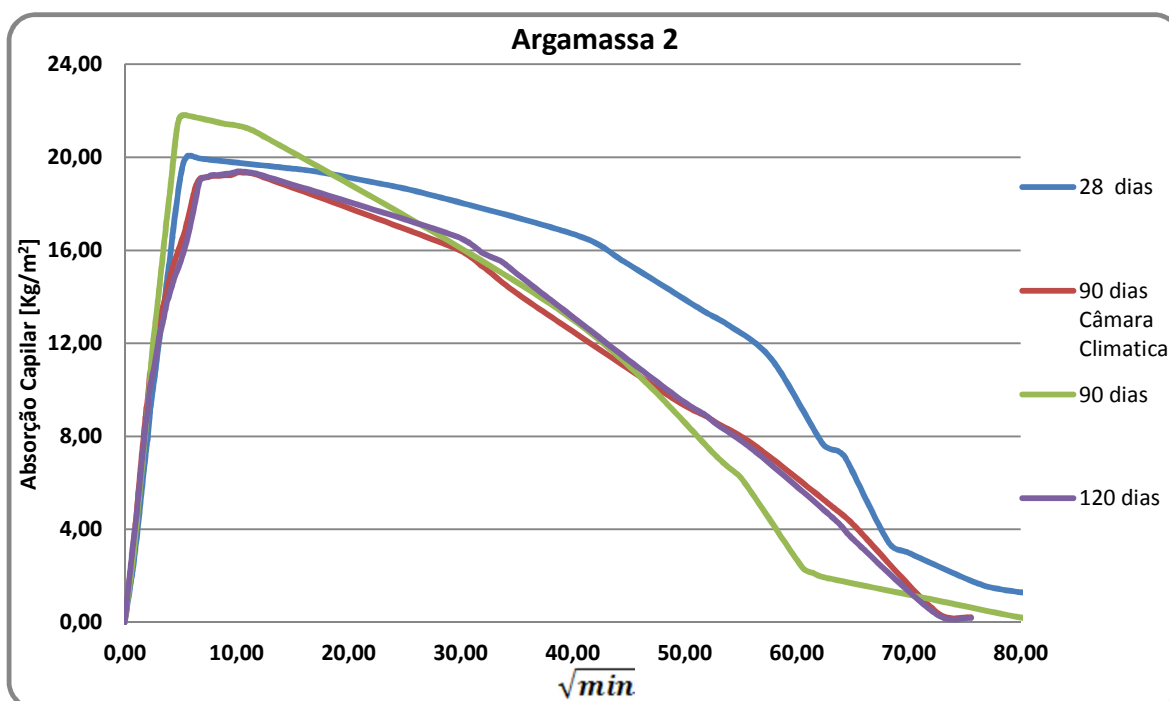


Figura 90. Absorção de água por capilaridade e secagem da argamassa dois aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.

Tabela 16. Coeficiente de capilaridade por contacto da argamassa dois aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.

Argamassa 2				
Idade [dias]	28 dias	90 dias C. Climática	90 dias	120 dias
Ccc [Kg/m ² /min ^{1/2}]	2,95	1,40	2,56	1,31

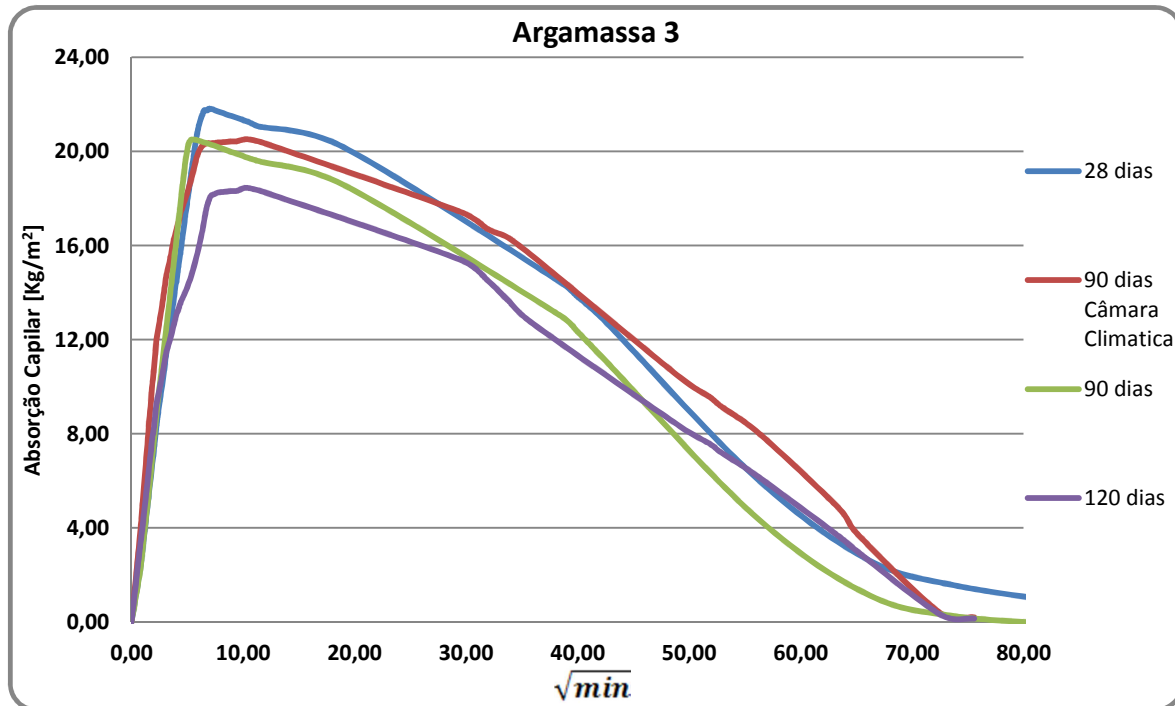


Figura 91. Absorção de água por capilaridade e secagem da argamassa três aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.

Tabela 17. Coeficiente de capilaridade por contacto da argamassa três aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática.

Argamassa 3				
Idade [dias]	28 dias	90 dias C. Climática	90 dias	120 dias
Ccc [Kg/m ² /min ^{1/2}]	3,24	1,45	2,89	1,37

Na Figura 92 encontra-se o resumo do coeficiente capilar por contacto (Ccc) comparativo entre as três argamassas (Tabela 15) (Tabela 16) (Tabela 17).

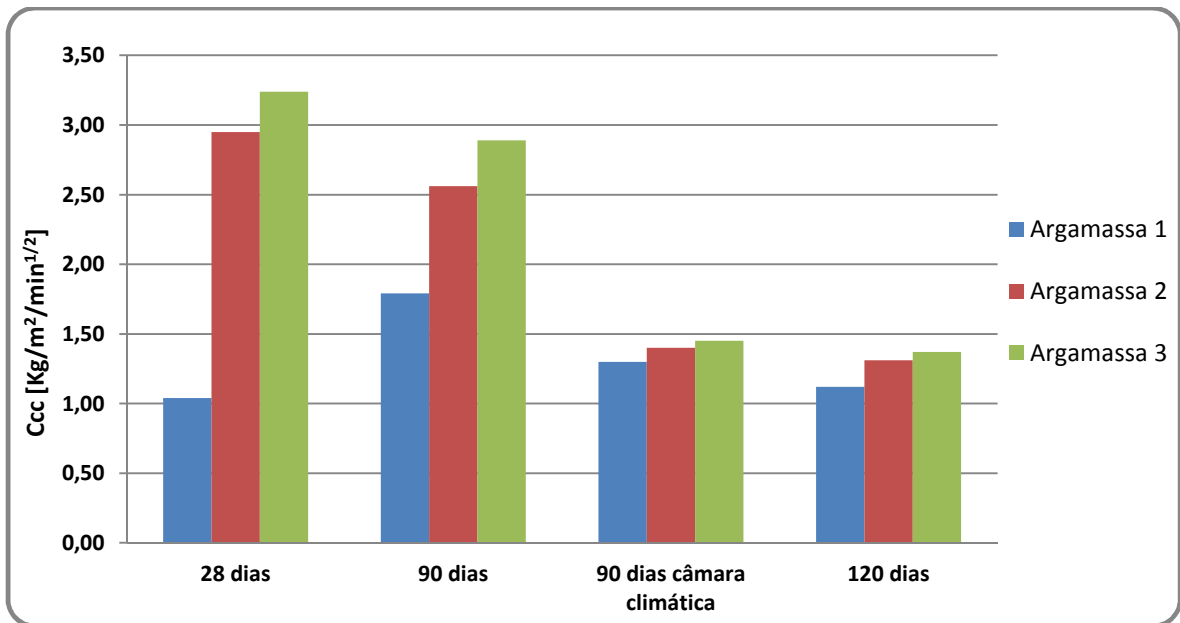


Figura 92. Coeficiente de capilaridade por contacto das argamassas aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Verifica-se através dos dados apresentados que aos 28 dias as argamassas dois (CA20MK) e três (CA20MK5SE) apresentam valores superiores à argamassa um (CA), sendo que aos 90 dias as mesmas apresentam uma redução significativa opostamente à argamassa um que sofre um incremento. As três argamassas aos 120 dias apresentam uma redução na ordem dos 52 %, valores satisfatórios e usuais para este tipo de argamassas, sendo que argamassa um regista o menor valor. Em todas as idades, a argamassa três é qual apresenta maior valor de capilaridade, mas apresentando ao mesmo tempo rápido valores de secagem.

Relativamente às argamassas submetidas as condições da câmara climática, conclui-se que todas apresentaram valores inferiores, sendo que as argamassas dois e três foram as que apresentaram maior redução, estando no seguimento dos valores apresentados aos 120 dias para as argamassas que tiveram uma cura normal.

Conforme exposto na Tabela 9 os valores aos 90 dias do coeficiente de capilaridade deveriam encontra-se no intervalo de $1 \text{ Kg/m}^2/\text{min}^{1/2}$ e os $1,5 \text{ Kg/m}^2/\text{min}^{1/2}$. Podemos desta forma concluir que as três argamassas não cumprem os requisitos solicitados. Relativamente às argamassas sujeitas à câmara climática, as três argamassas estão compreendidas entre os intervalos propostos, sendo que para idades superiores, nomeadamente aos 120 dias, todas argamassas apresentam valores satisfatórios dentro dos intervalos espectáveis.

6.7.8. Absorção de Água Sob Baixa Pressão

Expõem-se de seguida, Figura 93, os resultados alcançados neste ensaio para os sistemas um, dois e três e respetivas zonas Z1 e Z2, sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.

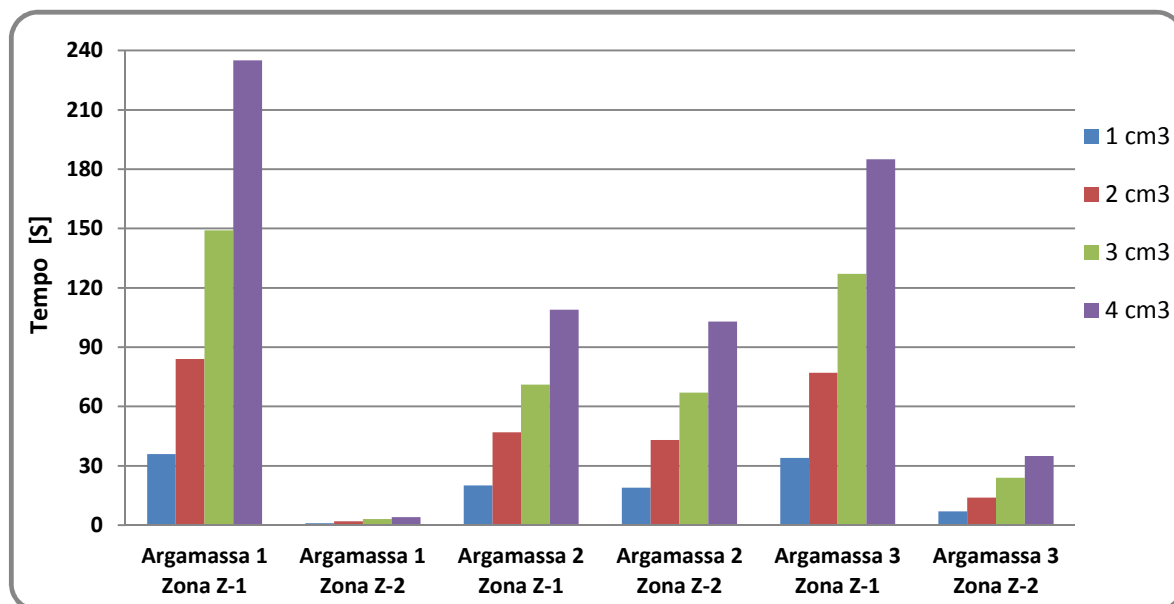


Figura 93. Absorção de água sob baixa pressão para as argamassas um, dois e três nas respetivas zonas Z1 e X2

Através da análise aos resultados obtidos pode-se concluir que para a zona Z1, que se caracteriza pelo local onde se verificou que a degradação do sistema era menor nos três sistemas, a argamassa um (CA) foi a que melhor comportamento apresentou, demorando aproximadamente 4 min para absorver os 4 cm³ de água. Opostamente, a argamassa dois (CA20MK) demorou aproximadamente 2 min para absorver a mesma quantidade de água e 3 min para a argamassa três (CA20MK5SE). A média da absorção de 4 cm³ de água é de 177 segundos, aproximadamente 3 minutos, nos três sistemas para a zona Z1.

Relativamente à zona Z2, caracterizada pelo local onde verificou-se que a degradação do sistema era maior nos três sistemas. A argamassa dois (CA20MK) foi a que apresentou um melhor resultado, opostamente à argamassa um (CA) que registou valores extremamente baixos, sendo extremamente difícil executar a sua medição por demorar 4 segundos absorver os 4 cm³. A média da absorção de 4 cm³ de água é de 48 segundos, nos três sistemas para a zona Z2.

As argamassas dois e três, com os respetivos aditivos, são as que apresentam um comportamento mais regular para as duas situações, apesar de registar valores inferiores à argamassa um para a zona Z1. Para situações expectáveis de falta de manutenção numa dada fachada estas argamassas aditivadas serão as mais aconselhadas.

6.7.9. Arrancamento por Tração (*Pull-Off*)

Constata-se de seguida, Figura 94, os resultados obtidos neste ensaio para os sistemas 1-original e réplica (aplicados com argamassa um); 2-original e réplica (aplicados com argamassa dois); e 3- original e réplica (aplicados com argamassa três), sujeitos às condições da câmara climática aos 90 dias.

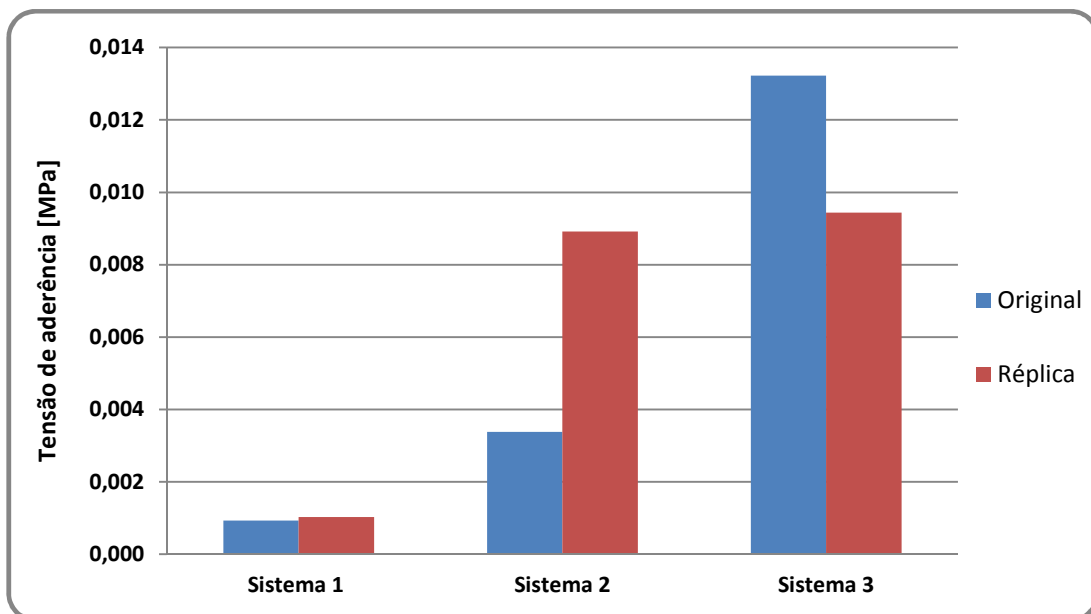


Figura 94. Tensão de aderência nos sistemas horizontais para azulejos originais e réplicas

Através dos dados apresentados pode-se concluir que para o sistema um, os valores de arrancamento são idênticos quer para o azulejo original quer para a réplica. No sistema dois o valor de arrancamento da pastilha colocada na réplica apresenta valores muito superiores ao original. Tal situação deve-se ao facto de o sistema se encontrar em empolamento e, aquando do primeiro arrancamento, o azulejo original foi afetado. Seria expectável que os valores entre original e réplica fossem mais próximos. O sistema três, ou seja, azulejos aplicados com a argamassa três é a que apresenta maiores valores, na ordem dos 0,013 MPa para o azulejo original e 0,0094 MPa para réplica.

Conclui-se que as argamassas com aditivos apresentam em todas as situações maiores valores de arrancamento comparativamente ao sistema que continha a argamassa um. De salientar que os valores alcançados poderão ter influência com o tipo de equipamento utilizado neste ensaio, uma vez que qualquer heterogeneidade constitui um ponto fraco do sistema, sendo que o arrancamento se inicia nessa zona fragilizada havendo à posterior propagação às aéreas contínuas até que aconteça a sua rotura final.

Com o mesmo procedimento que foram realizados os arrancamentos nos três sistemas horizontais, realizou-se o ensaio aos tijolos que estiveram na vertical na câmara climática (Figura 95) (Figura 96).



Figura 95. Arrancamento por tração no sistema vertical – argamassa um com azulejo original

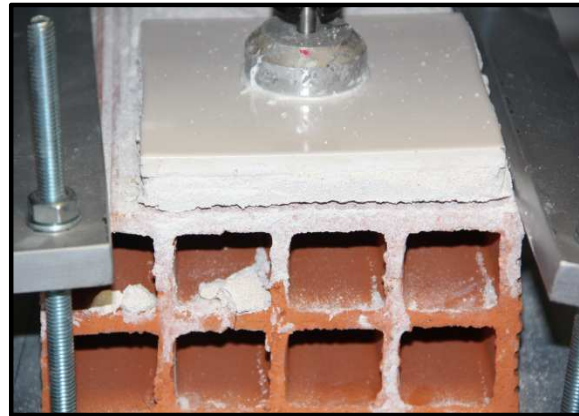


Figura 96. Arrancamento por tração no sistema vertical – argamassa três com azulejo réplica

De referir que a réplica que se encontrava assente com a argamassa um caiu durante o mesmo daí apresentar-se um valor nulo. Foram assim realizados cinco ensaios – duas réplicas (argamassas um e dois) e três originais (todas as argamassas). Neste caso, o ensaio foi realizado efetuando o arrancamento global do azulejo. Apresenta-se de seguida os dados obtidos (Figura 97).

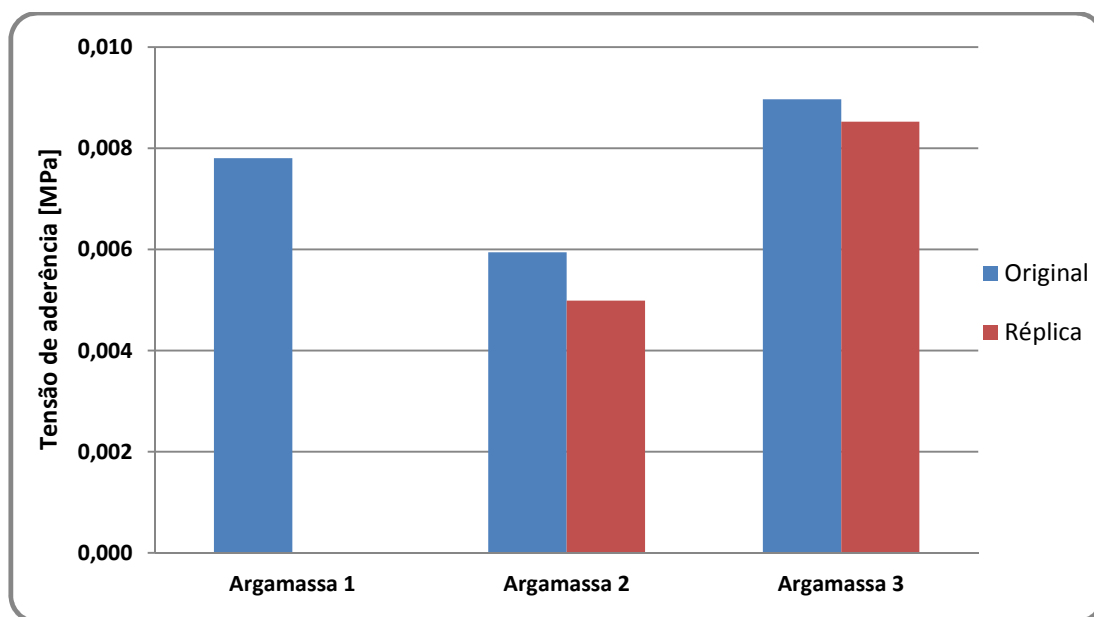


Figura 97. Tensão de aderência nos sistemas verticais para azulejos originais e réplicas

Constata-se que todas as réplicas apresentam valores inferiores de arrancamento em relação aos originais para as três situações. O maior valor foi atingido pela argamassa três com o azulejo original, com um valor máximo de 0,0090 MPa, sendo que o menor valor foi registado pela réplica aplicado com a argamassa dois. De referir que a porosidade dos azulejos utilizados poderá ter influenciado os dados obtidos, devido a utilização de azulejos diferentes, originais e réplicas.

6.8. Discussão dos Resultados

Apresenta-se, de seguida, a análise global e integrada dos resultados obtidos, pelo que foram efetuadas correlações e comparações para obtenção de conclusões relevantes. Recorreu-se a todos os valores apurados para as diferentes idades, mas a atenção foi concentrada sobretudo nos resultados aos sistemas e provetes que estiveram na câmara climática.

No primeiro caso, foi executado uma comparação dos valores obtidos através do ensaio de resistência à tração por flexão e do módulo de elasticidade, na Figura 98 apresentando-se os resultados alcançados.

Conforme referido no capítulo 6.7.3 “ o módulo de elasticidade está proporcionalmente relacionada com a resistência à tração, pois quanto maior for esta relação, maior será a tendência de fendilhação por retração” (CAVACO, 2005, VEIGA, 1998).

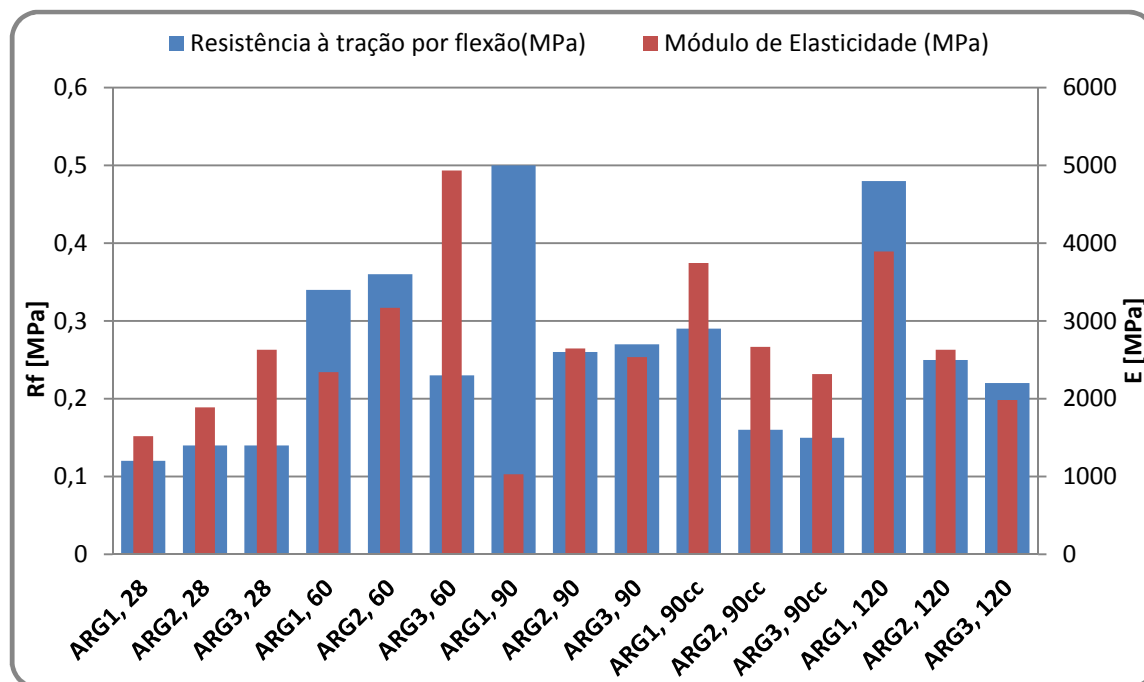


Figura 98. Resistência à tração por flexão e módulo de elasticidade aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Se quanto maior for a diferença entre resistência à tração e módulo de elasticidade, maior será a tendência para a mesma fendilhar, sendo necessário que o módulo de elasticidade seja superior à resistência à tração por flexão, concluindo-se que aos 28 dias as três argamassas em estudo apresentam essa suscetibilidade. Contudo para as idades de 90 e 120 dias ocorre genericamente o aumento da resistência à tração provocando a diminuição da suscetibilidade da fendilhação.

Relativamente às argamassas que estiveram na câmara climática, os valores apurados na correlação apresentam a primazia do módulo de elasticidade, logo tendência à fissuração. Esta suscetibilidade foi observada nestes provetes – microfissuras –, mas não se verificou nos prismas em todas as idades que não foram introduzidos na câmara climática.

Realizou-se também a comparação dos valores da profundidade de carbonatação e do módulo de elasticidade, apresentando-se na Figura 99 os resultados obtidos.

Verifica-se que a carbonatação tem um aumento progressivo ao longo do tempo, atingindo valores médios de ordem 1,4 cm aos 120 dias. Por outro lado, quanto maior é a profundidade de carbonatação, maior é a tendência para o módulo de elasticidade estabilizar ou diminuir.

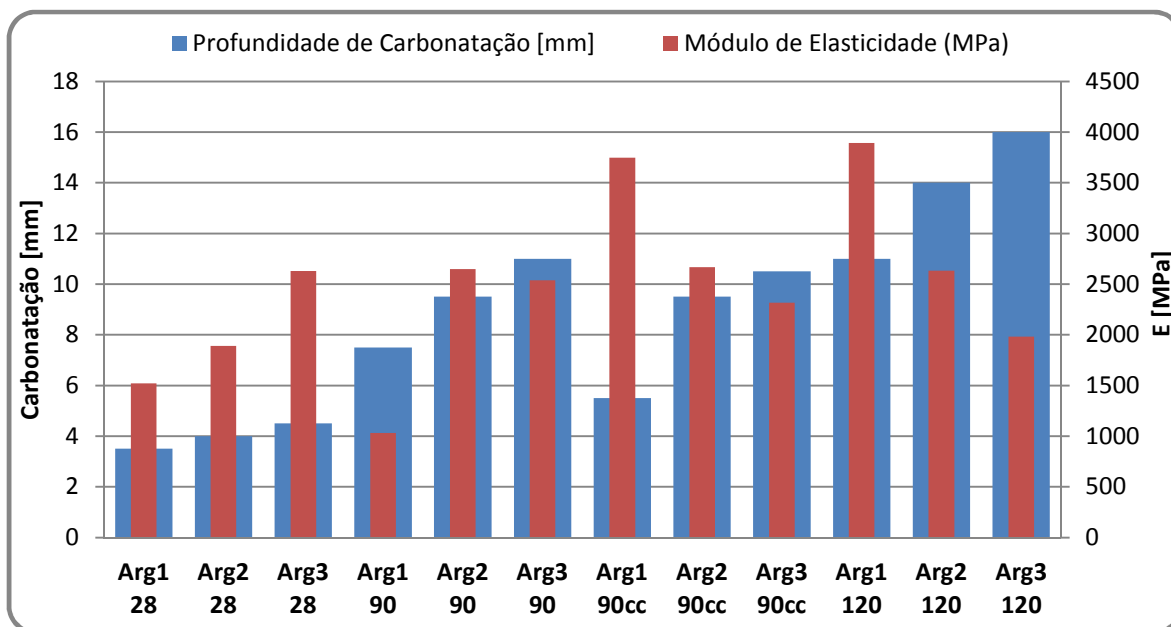


Figura 99. Profundidade de carbonatação e módulo de elasticidade aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Na argamassa um (CA), se bem que a profundidade de carbonatação aumente progressivamente, não se verifica a diminuição do módulo de elasticidade.

Relativamente às argamassas sujeitas à câmara climática (90 dias), verifica-se que na argamassa um, a carbonatação foi de 50 % (cerca de 2 mm) comparativamente à idade de 90 dias sem qualquer tipo de envelhecimento. A razão de ser poderá passar pelos sucessivos níveis de hidratação que esteve sujeita que terão impedido o processo de carbonatação (com o dióxido de carbono).

As argamassas dois e três mantiveram o mesmo ritmo de carbonatação, exibido um comportamento adequado em ambientes com humidade. Conclui-se que a sepiolite é um aditivo eficaz para o parâmetro de carbonatação em ambientes com humidades elevadas (reação hidráulica).

Foi ainda realizada a comparação dos valores da resistência à tração por flexão e a da resistência à compressão, apresentando-se na Figura 100 essa correlação.

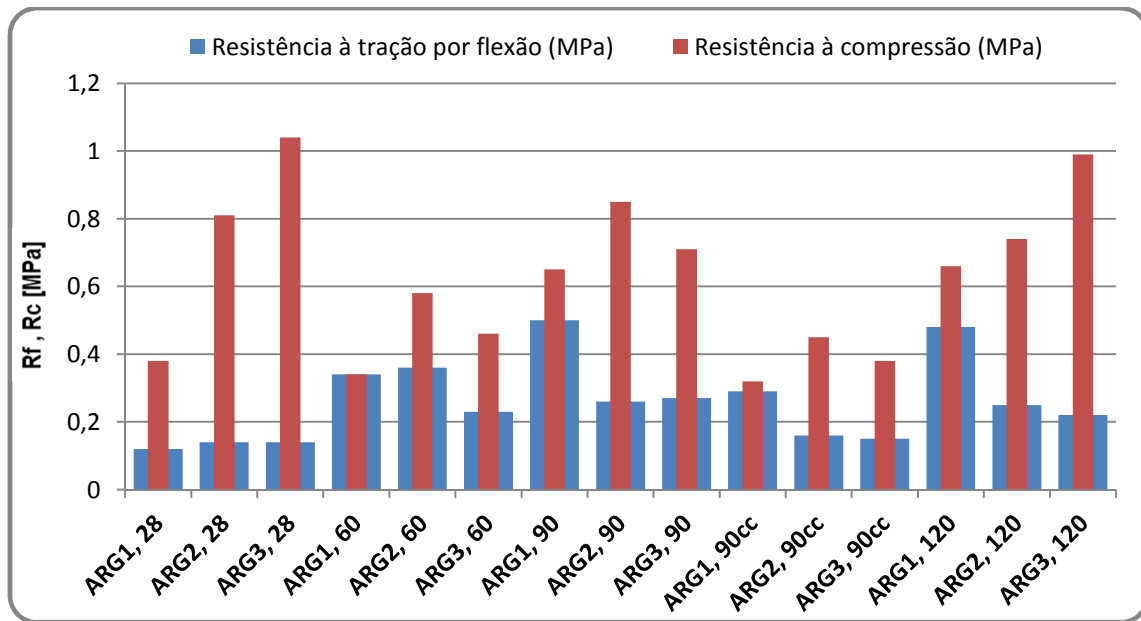


Figura 100. Resistência à tração por flexão e resistência à compressão aos 28, 60, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Pode-se ler que a resistência à compressão é sempre superior nas argamassas com aditivos, ou seja, nas argamassas dois (CA20MK) e três (CA20MK5SE), em comparação com a argamassa apenas com ligante aéreo (CA). A mesma tem tendência a aumentar o seu valor de resistência à tração por flexão ao longo do tempo, atingindo o máximo aos 120 dias. As argamassas dois e três após o aumento da resistência inicial (aos 60 dias), a resistência à tração tende a diminuir e estabilizar.

Relativamente às argamassas sujeitas às condições da câmara climática aos 90 dias, verifica-se que as ambas as resistências tendem a diminuir, sendo que a argamassa um apresenta a maior redução, na ordem dos 42 %. Apesar desta constatação, as resistências das argamassas dois e três ostentam valores satisfatórios.

Pode-se ainda concluir que, aos 120 dias, a argamassa três (CA20MK5SE) apresenta um valor inferior às restantes, sendo este facto espectral e desejado.

Verifica-se também que a adição de metacaulino promove uma diminuição da resistência à flexão quando comparada com a argamassa normal (CA).

Verifica-se que a adição de metacaulino produz um incremento da resistência à compressão em todas as suas formulações, desde o primeiro ensaio, assim conclui-se que, devido às reações hidráulicas promovidas por esta matéria-prima, as resistências nas datas mais jovens são superiores. As argamassas de cal apresentam aos 28 dias resistências inferiores mas, progressivamente, ganham maior resistência.

Por outro lado, executou-se a correlação dos valores obtidos da resistência à tração por flexão e a profundidade de carbonatação, apresentando-se na Figura 101 os resultados obtidos.

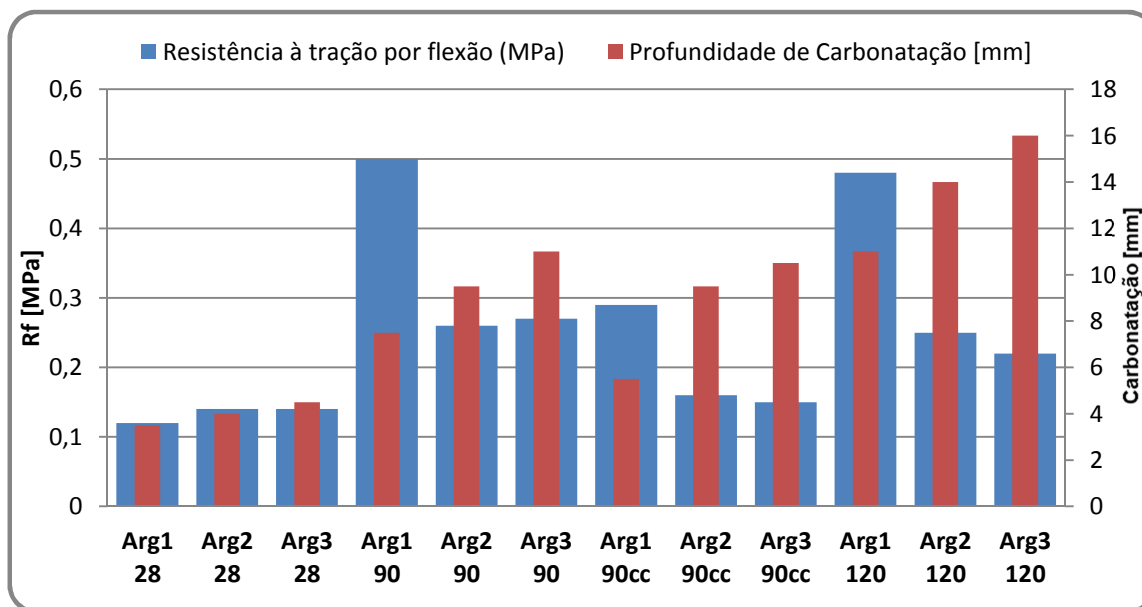


Figura 101. Resistência à tração por flexão e profundidade de carbonatação aos 28, 90, 120 dias e 90 dias câmara climática

Conclui-se que os valores de carbonatação têm uma evolução crescente ao longo do tempo, aumento em média 4 mm entre as idades apresentadas. De salientar que os dados obtidos aos 28 dias são os espectáveis, não se podendo retirar grandes conclusões, pois são muito similares. A argamassa um apresenta valores de resistências à tração por flexão sempre superiores as argamassas dois e três, mesmo para níveis de carbonatação idênticos às mesmas.

Relativamente às argamassas sujeitas às condições de envelhecimento da câmara climática aos 90 dias, conclui-se que as mesmas obtiveram uma redução na ordem dos 41 %, sendo a argamassa um, apesar de ter a maior redução, continuado apresentar valores superiores as argamassas dois e três.

Foram ainda comparados os valores obtidos do coeficiente de capilaridade e absorção de água sob baixa pressão, apresentando-se na Figura 102 os resultados alcançados.

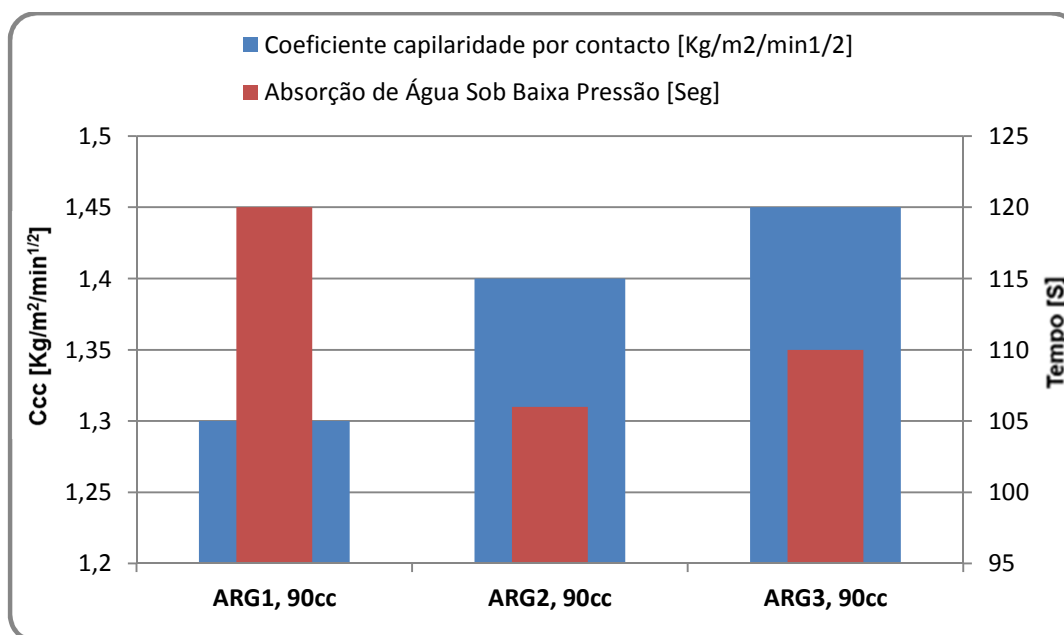


Figura 102. Coeficiente de capilaridade e absorção de água sob baixa pressão aos 90 dias câmara climática

Conforme exposto na Tabela 9 os valores aos 90 dias do coeficiente de capilaridade deveriam encontra-se no intervalo de 1 Kg/m²/min^{1/2} a 1,5 Kg/m²/min^{1/2}. Constatou-se que as três argamassas cumprem os requisitos solicitados.

Verifica-se que as argamassas com aditivos apresentam maiores valores de capilaridade em comparação com argamassa um (CA). Esta última apresenta o melhor resultado de absorção de água sob baixa pressão, sendo que as argamassas dois e três demorem, em média, menos 7 % do tempo a absorver a mesma quantidade de água.

Os valores das argamassas dois e três são os espectáveis, sendo que na argamassa um os resultados foram bastantes superiores. Desta forma, se bem que não exista confirmação, poderão estes valores indicar que argamassa um tem um comportamento superior em relação às restantes quando sujeita aos ciclos de envelhecimento.

Por último, foi realizada a correlação dos valores obtidos do arrancamento por tração e da profundidade de carbonatação (Figura 103).

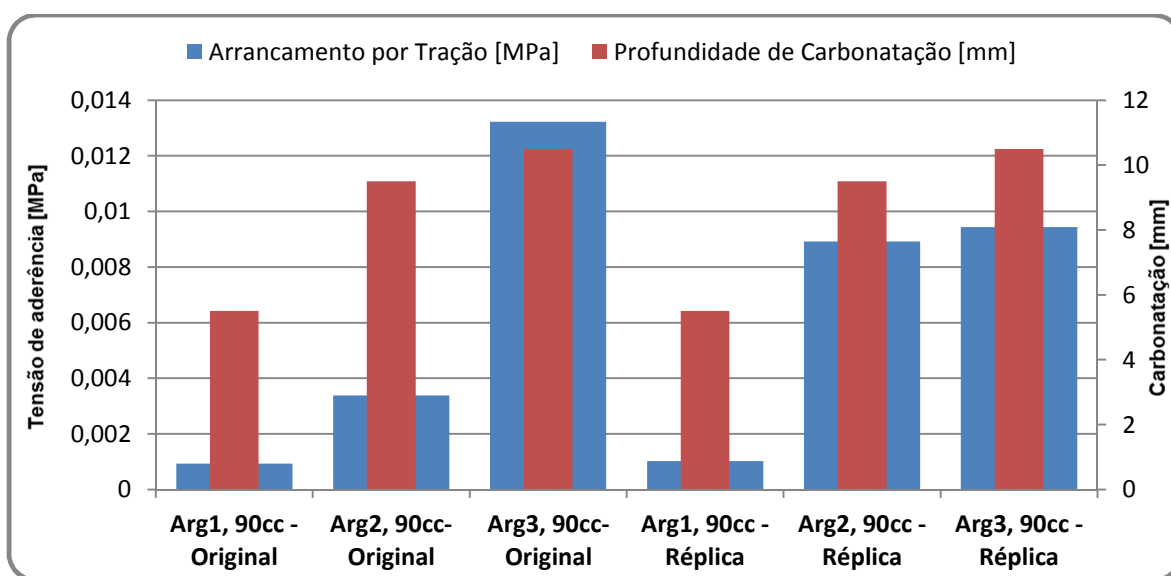


Figura 103. Arrancamento por tração e profundidade de carbonatação aos 90 dias câmara climática com azulejos originais e réplicas

Confirma-se que a profundidade de carbonatação é superior nas argamassas com aditivos, registando em média mais 5 mm de carbonatação em comparação com a argamassa sem aditivos (CA). A carbonatação nas argamassas dois e três é similar. A tensão de aderência é muito superior nas argamassas com aditivos em comparação com argamassa um (CA). O comportamento dos azulejos originais e réplicas são algo diferentes, facto que pode estar relacionado com a porosidade das réplicas que podem ser diferentes dos originais. Haverá ainda que salientar que existiram condicionantes que interferiram nos resultados, nomeadamente, o empolamento registado no sistema dois aquando do primeiro arrancamento (da réplica), que terá provocado perda de aderência do azulejo original.

Os valores de arrancamentos são correlacionáveis com os valores da carbonatação, conclui-se que quanto maior for o valor de carbonatação das argamassas, maior é a tensão de aderência, ou seja, maior é a força necessária para concretizar o arrancamento.

Em síntese, apresenta-se o resumo na Tabela 18, da avaliação dos resultados obtidos pelos ensaios aos sistemas e aos prismas sujeitos ao envelhecimento com os valores de referência Tabela 9 “requisitos mecânicos e de comportamento face à água para argamassas de edifícios antigos aos 90 dias de maturação”. É de atender que os valores de referência não foram sujeitos ao envelhecimento.

De forma facilitar a leitura empregou-se a classificação de mau, bom e razoável para as seguintes condições: mau, não cumpre os requisitos; razoável, cumpre mas com valores próximos dos limites; bom, cumpre os requisitos.

Tabela 18. Tabela de apoio à discussão dos resultados obtidos

Argamassas sujeitas as condições de envelhecimento da câmara climática				
Ensaio	Argamassa	Comportamento das argamassas		
		Mau	Razoável	Bom
Módulo de Elasticidade	Argamassa 1			X
	Argamassa 2			X
	Argamassa 3			X
Resistência à Tração por Flexão	Argamassa 1			X
	Argamassa 2		X	
	Argamassa 3		X	
Profundidade de Carbonatação	Argamassa 1		X	
	Argamassa 2			X
	Argamassa 3			X
Resistência à Compressão	Argamassa 1		X	
	Argamassa 2			X
	Argamassa 3		X	
Absorção de Água por Capilaridade	Argamassa 1		X	
	Argamassa 2	X		
	Argamassa 3	X		
Absorção de Água Sob Baixa Pressão	Argamassa 1			X
	Argamassa 2		X	
	Argamassa 3		X	
Arrancamento por Tração (Pull-Off)	Argamassa 1		X	
	Argamassa 2		X	
	Argamassa 3			X

É de sublinhar que os dados recolhidos devem ser interpretados e a seleção de uma argamassa é um processo que deve contemplar vários vetores que poderão influir na durabilidade da solução – tipo e características do sistema construtivo, os agentes de degradação, as anomalias do revestimento e do suporte, localização e orientação. Assim pretende-se efetuar uma síntese geral para situações gerais e em condições ambientais (temperatura e humidade relativa) similares às encontradas na cidade de Ovar.

Caso paradigmático desta situação são os resultados alcançados pelo ensaio de arrancamento por tração (*Pull-Off*) onde a argamassa um foi classificada de razoável por ter atingindo valores inferiores à argamassa três, mas o valor absoluto não é desapropriado mas sim adequado para a maioria das situações. Explica-se, a maioria das argamassas originais têm valores similares a esta, em caso de reparação pontual deve existir concordância de resultados, por outra parte as intervenções em edifícios com carga patrimonial devem ser reversíveis e esta situação é melhor conseguida pela argamassa um.

Outro ponto importante a considerar são as condições de aplicação. As argamassas devem ser aplicadas com condições meteorológicas adequadas: temperaturas inferiores a 25 °C e superiores a 10 °C e velocidade do vento inferior a 28 Km/h. As camadas de espessuras aplicadas nunca devem ser superiores a 2 cm, sendo que entre as mesmas deverá existir um intervalo de secagem de 24 h (VELOSA, 2012).

Desta forma, através do comportamento das argamassas estudadas, podemos indicar as argamassas para as seguintes condições específicas:

- Argamassa 1 – Argamassas para aplicação em condições sem humidade (interior);
- Argamassa 1 – Argamassas para aplicação em juntas;
- Argamassa 2 e 3 – Argamassas para aplicação em condições com humidade no suporte (humidade ascensional ou de infiltração);
- Argamassa 3 – Argamassas para aplicação em zonas acessíveis e em zonas suscetíveis ao roubo.

7. CONCLUSÕES

As metas propostas no início do trabalho foram atingidas, tendo-se preconizado o estudo e a caracterização de três formulações das argamassas em fase de desenvolvimento. Foi possível alcançar uma melhor percepção do funcionamento das argamassas à base de cal hidratada e com a integração de aditivos, face às variações cíclicas de temperatura e humidade relativa.

Foram assinalados aspetos positivos nas novas formulações estudadas com a integração de aditivos relativamente às argamassas tradicionais de cal e areia. As argamassas com inclusão de aditivos apresentam melhores resultados em todos os ensaios realizados, à exceção da absorção de água por capilaridade onde a argamassa à base de cal e areia apresenta um melhor comportamento. Contudo, no período de secagem esta argamassa apresenta valores inferiores face às argamassas aditivadas, ou seja, estas últimas se bem que absorvam maior quantidade de água em menor período de tempo, apresentam uma secagem mais eficiente (rápida).

As argamassas sujeitas às condições de envelhecimento na câmara climática, apresentaram um bom comportamento, exibindo capacidade de resistência ao *stress* provocado pelos ciclos em causa. Conclui-se que só os elementos dos sistemas confinados é que apresentaram degradações, sendo que os elementos de referência (azulejos livres) sem qualquer integração e solicitação não ostentavam alterações. Este fator é relevante para o estudo do comportamento dos materiais futuramente na câmara climática: um não confinamento dos elementos que venham a estar nessas condições poderá não ter resultados representativos. Contudo haverá que continuar a realizar ensaios na câmara para sustentar esta indicação.

Nas formulações estudadas verifica-se que a adição de metacaulino produz um incremento da resistência à compressão em todas as idades, desde o primeiro ensaio. Verifica-se que a profundidade de carbonatação é superior nas argamassas com aditivos, sendo mais expressiva na argamassa com sepiolite, podendo desta forma concluir-se que este é um aditivo eficaz na aceleração da carbonatação.

Antevendo trabalhos futuros, seria interessante estudar novas formulações, com variação da percentagens de aditivos empregues, visando alcançar novos traços. Ensaio utilizando como ponto de partida estas argamassas e introduzindo aditivos diferenciados é um campo com margem de trabalho imenso, visando a exploração de receitas tradicionais.

Será relevante a prosecução do atual estudo de forma a registar os limites das argamassas para ciclos de maior duração e averiguar o tempo de decaimento de funcionalidade das argamassas. Dos provetes realizados, e que se encontram no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, seria proveitoso executar os respetivos ensaios ao fim de 180 dias, 1 e 2 anos para registo da evolução das argamassas estudadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.F.E.D.E.S - Association Française pour l'Étude et le Développement des Applications de l'Énergie Solaire - Memosol - Mémento d'Héliotechnique. Paris, 1980.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, QUALIDADE DO AR - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=6&subpage=>>].

ALBERO, J.L. AMORÓS; V. BELTRÁN PORCAR; A. BLASCO FUENTES; J.E. ENRIQUE NAVARRO; F. NEGRE MEDALL - Defectos de Fabricación de Pavimentos Y Revestimientos Cerámicos. 1991.

AMORIM, SANDRA ARAÚJO DE - Azulejaria de fachada na Póvoa de Varzim (1850-1950). 1996.

ARRUDA, LUÍSA - Azulejaria nos séculos XIX/XX. História da Arte Portuguesa. Lisboa, 1988.

BARDI, P. M. - Arte da cerâmica no Brasil. 1980.

BOTELHO, PATRÍCIA CLÁUDIA - Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: comportamento em termos de aderência e durabilidade. . IST/UTL, 2003.

BS 1881-209- Testing concrete. Recommendations for the measurement of dynamic modulus of elasticity. 1990.

BUYS, SUSANA; OAKLEY, VICTORIA - The Conservation and Restoration of Ceramics. . Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993.

CAHIER 2669-4 CSTB- CSTB - Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation. Modalités d'essais. Cahier 2669-4 CSTB, Cahiers du CSTB, 341, Paris, Juillet-Août 1993. 1993.

CALVALCANTI, S.TIGRE DE HOLLANDA - O Azulejo na Arquitetura Civil de Pernambuco, século XIX. . São Paulo, 2002.

CÂMARA MUNICIPAL DE OVAR - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.cm-ovar.pt/www/default.aspx>>].

CANEVA, G - La Biología en la Conservación. . Sevilla: Nerea, 2000.

CAVACO, LUÍS S. R. GOMES - Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho IST/UTL, 2005.

CHATTERJI, S. - Aspects of generation of destructive crystal growth pressure. (2005).

CORDEIRO, JOSÉ MANUEL LOPES - As fábricas portuenses e a produção de azulejos de fachada (Sécs.XIX-XX), In Azulejos no Porto. Porto, 1996.

DOMINGUES, A. M. - A ornamentação cerâmica na arquitectura do romantismo em Portugal. Porto, 2009.

DOMINGUES, ANA MARGARIDA PORTELA - Devesas: As origens históricas da Fábrica de cerâmica que mais marcou as fachadas de Ovar. Câmara Municipal de Ovar. Dunas: temas e perspectiva: Câmara Municipal de Ovar, 2004.

ELERT, KERTING- Lime mortars for the conservation of historical buildings: Studies in Conservation. 2002.

EN 1015-2- Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. 1998.

EN 1015-3- Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). 1998.

EN 1015-11 - Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. (1999).

FERREIRA, MARIA ISABEL MOURA - Azulejos tradicionais de fachada, em Ovar. Contributos para uma metodologia de conservação e restauro Câmara Municipal de Ovar, 2009.

FLORES-COLEN, INÊS; BRITO, JORGE DE; BRANCO, FERNANDO A. - Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento: 2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa, 2007.

FREITAS, V., TORRES, I., GUIMARÃES, A - Humidade Ascensional. Porto, 2008.

FRÖSCHL, S.- Lime within and on top of the outside Wall structure: COST C5/EUROCARE. Viena., 1998.

GUIMARÃES, J. - Técnicas Tradicionais de Construção, Anomalias e Técnicas de Intervenção em Fachadas e Coberturas de Edifícios Antigos Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009.

HENRIQUES, F. RODRIGUES, J.D.; AIRES-BARROS, L.; PROENÇA, N. - Materiais pétreos e similares - terminologia das formas de alteração e degradação. Lisboa: LNEC, 2004.

INSTITUTO DE METEOROLOGIA, IP PORTUGAL - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.meteo.pt/pt/>>].

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0005889&contexto=pi&selTab=tab0>].

>.

ISO 3310-2- Test sieves – Technical requirements and testing – Part 2: teste sieves of perforated metal plate 1990.

LNEC - Ensaio de absorção de água por capilaridade para amostras irregulares e friáveis. Lisboa: 2005.

LNEC - Revestimento de paredes. Ensaio de arrancamento por tração Lisboa: LNEC, 1986.

LNEC - Revestimentos de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão. Lisboa: 2002.

LUBELLI, B.- Self-healing of lime based mortars: microscopy observations on case studies. 2011.

LUCAS, JOSÉ AMÂNDIO CARVALHO - Alguns casos de patologia em Azulejos. Lisboa, 1998.

LUCAS, JOSÉ AMÂNDIO CARVALHO - Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes. Lisboa, 1990.

LUCAS, JOSÉ AMÂNDIO CARVALHO; MENDES ABREU, MIGUEL MARINHO - Revestimentos Cerâmicos Colados – Descolamento. Lisboa: LNEC 2005.

MAGALHAES, ANA CRISTIAN - Patologias de rebocos antigos. Cadernos Edifícios. 2002.

MARIZ, LUÍS - El azulejo en la arquitectura de la ciudad de Oporto [1850-1920] Caracterización e Intervención Universidad del País Vasco, 2009.

MARQUES, MARIA AUGUSTA; COSTA, MANUELA PINTO DA - Faiança de revestimento e de decoração na arquitetura do Porto e Gaia. In Itinerário da faiança do Porto e Gaia. IPM. Lisboa: Museu Nacional de Soares dos Reis, 2001.

MARTINS, G. - Influência do revestimento azulejar na permeabilidade da fachada. Aveiro.: Universidade de Aveiro 2010.

MECO, JOSÉ - Azulejaria Portuguesa. . 1985.

MECO, JOSÉ - Exposição de Azulejos de Lisboa. Publicação Lisboa: Ramos, Afonso & Moita Lda., 1984.

MECO, JOSÉ - O azulejo em Portugal. Lisboa, 1989.

MIMOSO, JOÃO M - LEVANTAMENTO EM OBRA DE PATOLOGIAS EM AZULEJOS HISTÓRICOS Visitas realizadas em 2009-2010 RELATÓRIO 22/2011 – NPC. Lisboa: 2011a.

MIMOSO, JOÃO M; LURDES ESTEVES - Vocabulário Ilustrado da Degradação dos Azulejos Históricos. Lisboa, 2011b.

NP EN 933-1- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. . 2000

NP EN 12390-2- Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica 2009.

PINTO, ANA PAULA; GOMES, AUGUSTO - Degradação e Conservação de Materiais I. Argamassas: 1º Curso de formação avançada em Recuperação e Conservação do Património Construído. DECivil IST/UTL, 2007.

PORTO, FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://paginas.fe.up.pt/porto-ol/bcr/index.html>>].

PORTUGAL, O AZULEJO EM - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.oazulejo.net/>>].

RATO, VASCO MOREIRA - Conservação do Património Histórico Edificado. Princípios de Intervenção. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.

RENAU, RAFEL GALINDO - Pastas Y Vidriados en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos. Espanha, 1994.

RIBEIRO, L - Azulejaria de Fachada de Ovar: Formas e Agentes de Alteração Tomar: Instituto Politécnico de Tomar, 2011.

RODRIGUES, ARINDA. - Novas Viagens. O Meio Natural. 1.ª Edição ed. Lisboa. 2004.

SIMÕES, JOÃO MIGUEL DOS SANTOS - Azulejos Românticos. Lisboa, 1974.

SOUSA, AUGUSTO V. S.; FREITAS, VASCO F.; SILVA, J. A. RAIMUNDO MENDES DA - - Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos. Coimbra: APIC – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica., 2003.

SOUSA, VITOR; PEREIRA, FERNANDO; BRITO, JORGE - Rebocos Tradicionais: Principais Causas de Degradação. Universidade do Minho, 2005.

TEIXEIRA, BRUNO - Conservação de Fachadas Azulejadas em Ovar: Comportamento Mecânico Aveiro: Universidade de Aveiro Departamento 2008.

TELES, MADALENA; BEGONHA, ARLINDO , - Patologia dos Materiais. Patologia da Pedra. Porto 1998.

TORRACA, GIORGIO - Porous Materials Building. Materials Science for Architectural Conservation. Rome 1988.

UNIVERSIDADE DE AVEIRO - Relatório de trabalhos realizados: Ensaio de argamassas. Universidade de Aveiro: 2012.

VALENTE, CARLA - Conservação de Fachadas Azulejadas em Ovar: Comportamento Face à Água. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2008.

VEIGA, M. ROSÁRIO- Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes.: 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. LNEC, 2003.

VEIGA, M. ROSÁRIO - Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos – Métodos e Materiais Lisboa: LNEC, 2009.

VEIGA, M. ROSÁRIO - Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação Teses e Programas de Investigação do LNEC. Lisboa: 1998.

VEIGA, R. ; FRAGATA, A.; VELOSA, A.; MAGALÃES, A.; MARGALHA, G. - Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings 2010.

VELOSA, ANA ; MARIZ, LUIS; FERREIRA, ISABEL; - Manual de Materiais e Técnicas Tradicionais de Assentamento de Azulejos de Fachada. 2012.

VELOSA, ANA LUÍSA - Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas. Aveiro: Universidade de Aveiro 2006.

VELOSO, A. J. BARROS; ALMASQUÉ, ISABEL - Azulejaria de Exterior em Portugal. Inapa. Lisboa, 1991.

VENTURA, MARCO – O CLIMA DE AVEIRO - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://torre.fis.ua.pt/Aveiroclimate.asp>>].

WANDERLEY, MOURA INGRID; SICHIERI, PAULO EDUVALDO - Azulejo - Revestimento cerâmico em áreas externas. Departamento de arquitetura e urbanismo, Escola de engenharia de S. Carlos, 2005.

WEATHER, ONLINE - [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?LANG=en&PLZ=&PLZN=&WMO=08544&CONT=euro&R=161&LEVEL=162®ION=0005&LAND=PO&MOD=tab&ART=PRE&FMM=1&FYY=2007&LMM=12&LYY=2011&NO REGION=1>>].

WHITTAKER, R.H. - On the broad classification of organisms. The Quarterly Review of Biology. 1959.

WIKIPÉDIA - [em linha]. [Consult. Disponível em
WWW:<URL:[http://pt.wikipedia.org/wiki/Reino_\(biologia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Reino_(biologia))>.

WIKIPÉDIA - [em linha]. [Consult. Disponível em
WWW:<URL:http://pt.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Portugal>.

WUNDERGROUND, TEMPO NO - [em linha]. [Consult. Disponível em
WWW:<URL:<http://portuguese.wunderground.com/cgi-bin/findweather/getForecast?query=40.92027664,-8.64361095>>.