



**Estudo laboratorial e em condições reais
sobre o aglomerado de cortiça expandida aplicado
como revestimento exterior**

MARIA OLIVEIRA ZENHA DA CRUZ ROSETA
Licenciada em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado elaborado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações
no âmbito do protocolo de cooperação entre o ISEL e o LNEC

Orientador: Doutor Carlos Alberto Pina dos Santos
Co-orientador: Licenciado Jorge Manuel Grandão Lopes

Júri:

Presidente: Doutora Carla Maria Duarte Silva e Costa
Vogais: Mestre João Barrento da Costa
Doutor Carlos Alberto Pina dos Santos
Licenciado Jorge Manuel Grandão Lopes

Dezembro de 2013

***A todos aqueles que,
como eu, acreditam na cortiça***

Agradecimentos

A concretização deste trabalho só foi possível graças aos contributos e sinergias de um conjunto de pessoas, que até aí não conhecia e que ficarão sempre na minha memória.

Começo por agradecer ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) por me acolher como estagiária no âmbito deste estudo.

Ao Engenheiro Carlos Pina dos Santos, investigador principal do LNEC, um agradecimento especial pela forma como abraçou o meu tema e a confiança com que me inspirou nas opções que tive que fazer tendo em conta a ambição que trazia e o entusiasmo, um pouco ingénuo, de tantas ideias com que queria iniciar a minha tese. O meu profundo reconhecimento pela forma como, na qualidade de meu orientador, questionou, me inquietou com perguntas e desafios que sem dúvida constituíram um incentivo permanente na busca do rigor e da abertura de espírito para lidar com os momentos mais críticos do estudo.

Ao Engenheiro Jorge Grandão Lopes, professor do ISEL e Diretor do Departamento de Edifícios do LNEC, meu co-orientador, por ter aceite o meu tema, dado sugestões com criatividade, ter-me alertado para aspetos importantes e me ter apresentado ao Engenheiro Pina dos Santos.

Aos técnicos de experimentação, começo por agradecer ao José Carlos Matos a sua disponibilidade em todos os momentos, a sua ajuda, bom humor e conselhos tão importantes durante a realização dos ensaios; ao Manuel Cabaço Sadio pelo contributo com os seus conhecimentos técnicos e disponibilidade para me informar sobre os equipamentos e ensaios e ainda à Cátia Alves por toda a rapidez e eficiência de execução e esclarecimento de dúvidas de alguns ensaios.

À Engenheira Alexandra Costa por todas as boas conversas, pela partilha de conhecimento, experiências e boa disposição e ao Dr. Luís Matias pela prontidão na resposta e resolução de situações imprevistas.

Aos técnicos do LNEC não só do meu departamento, como é o caso de Bento Sabala, Sr. Acácio Monteiro, Sr. Júlio Sampaio, Engenheiro António Santos e Jorge Amaral, mas também do Departamento de Materiais, Joana Pereira, Maria Otilia Lourenço e Sr. Luís

Nunes, e do Departamento de Estruturas de Madeira, Engenheiro José Saporiti, que contribuíram para a realização dos testes e ensaios executados para esta tese, sem eles a minha tese não seria o que é.

À SOFALCA e à ISOCOR, empresas fundamentais para este estudo, o meu agradecimento pela receptividade e interesse que demonstraram, desde a primeira hora com o convite para a visita à fábrica até às visitas guiadas a várias obras, e pelo apoio e fornecimento de todo o material e informação. Uma referência especial ao Sr. José Paulo Porfírio e ao Engenheiro Paulo Ribeiro pela disponibilidade para responder a questões e resolver problemas que iam surgindo ao longo do estudo.

Ao meu Tio João, o primeiro responsável pelo tema da *cortiça* para a minha tese. Pela forma inteligente, visionária e reveladora de inequívoca preocupação com o ambiente e as questões relacionadas com o desenvolvimento económico e sustentável.

Aos meus pais por todo o apoio ao longo do curso e incentivo nos momentos de dúvida e de quase desistência, dando-me espaço e liberdade de opção para manter a escolha que fiz, um reconhecimento com muito carinho à minha mãe pelo tempo que me deu do seu pouco tempo, para trocar ideias, discutir frases e formas que expressassem o que eu efetivamente queria dizer, sempre com muita paciência e a qualquer hora!

À minha irmã Marta, por me ter ajudado a descontrair nos momentos menos bons, com o seu habitual bom humor, pela sua boa disposição, forma engraçada de distrair, durante todo este percurso.

Ao Gonçalo por todo o apoio, compreensão, preocupação, interesse e incentivo constantes no meu curso e nesta fase final e pela sua presença apesar da minha “ausência”, prova irrefutável do seu amor.

Resumo

O interesse do estudo sobre a aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior surge da constatação de dois fatores críticos numa perspetiva de desenvolvimento sustentável: a utilização de um produto constituído por um recurso natural renovável – a cortiça – e a preocupação em poder vir a contribuir para uma maior sustentabilidade na construção.

O aglomerado de cortiça expandida é um produto que reutiliza resíduos de cortiça – a falca – e com um processo de fabrico não poluente, o que reforça o interesse em investigar a sua utilização como revestimento exterior de paredes com características de isolante térmico.

Sendo esta utilização relativamente recente, apenas há cerca de dez anos, ciente da necessidade de conhecer mais sobre a sua viabilidade ainda há muito a conhecer sobre a fiabilidade das características a longo prazo e as vantagens da sua aplicação como revestimento exterior.

Neste contexto o presente estudo visa aprofundar e confirmar aspetos, alguns deles mal estudados e até desconhecidos, que têm a ver com as características que poderão fazer do aglomerado uma boa escolha enquanto revestimento exterior.

A análise dessas características e de outras ainda desconhecidas foi realizada em condições reais de exposição, numa célula experimental no LNEC, e em laboratório através de diversos ensaios em ambas as condições. Os resultados pretendem não só confirmar aspetos conhecidos como contribuir para a criação de soluções que melhorem o desempenho do aglomerado, para que este possa vir a ser, num futuro próximo, uma opção viável e preferida como revestimento exterior.

Palavras-chave:

Aglomerado de cortiça expandida, revestimento exterior, célula experimental, condições reais, condições em laboratório.

Abstract

The interest of the study on the implementation of expanded cork agglomerate as exterior cladding comes from the observation of two critical factors in a perspective of sustainable development: the use of a product consisting of a renewable natural material - cork -; and the concern to contribute to greater sustainability in construction.

The expanded cork agglomerate is a product that re-uses cork waste - the “falca” - and a non-polluting manufacturing process, which strengthens the interest in investigating its use as external finishing with thermal insulation characteristics.

Once this use is relatively recent, only about ten years old, one being aware of the need to know more about its viability, there is still much to learn about the reliability of the long-term characteristics and advantages of its application as exterior cladding.

In this context, this study aims to deepen and confirm aspects, some of them poorly studied and even unknown, aspects that deal with characteristics that will do of the agglomerate a good choice for exterior cladding.

The analysis of these and other not well known characteristics was performed under testing both on actual exposure conditions, on an experimental cell in LNEC, and on laboratory. The results aim to confirm not only already known aspects, but also to contribute for the creation of solutions that will improve the performance of the agglomerate, so that it may become, in the near future, a viable and preferred option as exterior cladding.

Keywords:

Expanded cork agglomerate, exterior cladding, experimental cell, actual conditions, conditions in the laboratory.

Índice

1.	Introdução	1
2.	Âmbito de estudo	5
3.	Síntese de conhecimentos	7
4.	A cortiça	17
5.	Aglomerado de cortiça expandida	21
5.1	Aspetos gerais	21
5.2	Aplicações do aglomerado de cortiça expandida	22
5.3	Vantagens e inconvenientes da utilização do aglomerado na construção	25
5.4	Processo de fabrico	26
5.5	Requisitos impostos à aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior	29
5.6	Problemas decorrentes da aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior	33
6.	Célula experimental	37
6.1	Descrição da célula experimental	37
6.2	Aplicação das placas de aglomerado de cortiça expandida	38
7.	Ensaio e observações de aspetos ao longo do tempo	55
7.1	Ensaio laboratoriais	55
7.1.1	Ensaio de exposição à radiação ultravioleta e à água	56
7.1.2	Ensaio de exposição à radiação de arco de xénon filtrada.....	62
7.1.3	Ensaio de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	68
7.1.4	Ensaio da permeabilidade ao vapor de água	75
7.1.5	Ensaio da condutibilidade térmica	81
7.1.6	Ensaio de durabilidade.....	89
7.1.7	Ensaio de envelhecimento	94

7.1.8	Nevoeiro salino.....	103
7.1.9	Fungos e podridões.....	109
7.1.10	Ensaio das reflectâncias totais	109
7.1.11	Ensaio do fogo	113
7.2	Ensaio na célula experimental.....	122
7.2.1	Termografia e sensor de temperatura superficial.....	122
7.2.2	Ensaio de choques e de perfuração	126
7.2.3	Medição das juntas entre placas de aglomerado coladas	130
7.2.4	Ensaio da reflectância solar	132
7.3	Aspetos observados na célula experimental ao longo do tempo.....	135
8.	Conclusões	147
9.	Bibliografia	155
ANEXOS.....		161
ANEXO I		162
ANEXO II		167
ANEXO III		184
ANEXO IV		186
ANEXO V		188
ANEXO VI		191
ANEXO VII		194
ANEXO VIII		196
ANEXO IX		197
ANEXO X		200

Índice de Quadros

Quadro 1 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida ...	78
Quadro 2 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida com primário e cola impermeabilizante	79
Quadro 3 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida com primário.....	79
Quadro 4 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida com cola impermeabilizante	80
Quadro 5 Valores de condutibilidade térmica aparente a 10 °C e 20 °C.....	83
Quadro 6 Valores de condutibilidade térmica aparente (λ) e teor de água (u)	85
Quadro 7 Factores de correção e valores de condutibilidade térmica aparente corrigidos ...	85
Quadro 8 Resultados do Ensaio de Tração	92
Quadro 9 Ciclos do choque térmico	98
Quadro 10 Variação de massas na fase de imersão	98
Quadro 11 Variação de massas no gelo-degelo	99
Quadro 12 Resultados do ensaio de envelhecimento.....	99
Quadro 13 Resultados do ensaio de tração perpendicular nos provetes envelhecidos	100
Quadro 14 Resultados do ensaio de tração perpendicular nos provetes resultantes da lajeta com cola impermeabilizante	102
Quadro 15 Resultados do ensaio de flexão dos provetes do nevoeiro salino e amostra inicial	108
Quadro 16 Resultados das reflectâncias totais luminosas	110
Quadro 17 Determinação da reflectância hemisférica-hemisférica para os provetes de aglomerado exposto na célula	112
Quadro 18 Reflectâncias e absorção do luminancímetro	112
Quadro 19 Valores da absorção da esfera integradora e do luminancímetro.....	112
Quadro 20 Resultados para o ataque de bordo e ataque da face principal	117
Quadro 21 Comparação dos resultados do ataque de bordo para os três tipos de provetes	118
Quadro 22 Comparação dos resultados do ataque da face principal para os três tipos de provetes.....	118
Quadro 23 Medição diária da largura das juntas na fachada sul.....	131
Quadro 24 Medição diária a largura das juntas na fachada poente	131

Quadro 25 Valores médios das reflectâncias ao longo do dia nas diferentes fachadas..... 134

Índice de Figuras

Figura 1 Célula experimental antes e depois da reabilitação	6
Figura 2 Casa das Penhas Douradas.....	8
Figura 3 Estação Biológica do Garducho	8
Figura 4 Casa do Rio de Vez.....	9
Figura 5 Casa da Eira	9
Figura 6 Café/Restaurante Jardim do Lago	9
Figura 7 Moradia particular em Colares	10
Figura 8 Moradia particular na Charneca da Caparica	10
Figura 9 Moradia particular no Montijo	11
Figura 10 Casa GG	11
Figura 11 Pavilhão Centro de Portugal.....	12
Figura 12 Colégio Pedro Arrupe	12
Figura 13 Colégio Atlântico	12
Figura 14 Ecocabana	13
Figura 15 Casa dos Marcos.....	13
Figura 16 Solução ETICS	23
Figura 17 Fachada ventilada	23
Figura 18 Revestimento de fachada numa moradia	24
Figura 19 Parede exterior (esq.) e parede interior (dir.) ambas em alvenaria.....	24
Figura 20 Faltas de material nas placas.....	33
Figura 21 Alteração de cor e manchas.....	34
Figura 22 Rugosidade (esq.) e manchas carbonizadas (dir.)	34
Figura 23 Aglomerado de cortiça não acessível (esq.) e acessível (dir.).....	35
Figura 24 Célula antes da aplicação do ICB em estudo	38
Figura 25 Colocação do perfil de aço	39
Figura 26 Colocação do aglomerado sobre o perfil de aço	40
Figura 27 Aplicação do primário nas paredes da célula experimental	40
Figura 28 Aplicação do primário nas placas de aglomerado	41
Figura 29 Lixagem para assento das placas de aglomerado no perfil de aço	42
Figura 30 Colocação das placas com encaixe de topo (fachadas nascente à esq. e sul à dir.)	42
Figura 31 Aplicação da cola impermeabilizante	43

Figura 32 Corte de placas de aglomerado com menor espessura	44
Figura 33 Colagem e aplicação das placas de aglomerado com a pedra de granito	44
Figura 34 Colagem das placas com a cola impermeabilizante	45
Figura 35 Colagem das placas com cola prego	45
Figura 36 Encaixe meia espessura na fachada a norte	46
Figura 37 Aplicação com a máquina de corte às placas (esq.) e arrancamento da cola prego (dir.)	47
Figura 38 Janela de visita	47
Figura 39 Aplicação de placas de menor espessura	48
Figura 40 Desnível de placas das fachadas nascente e sul (esq.) e chapa zincada da janela (dir.)	49
Figura 41 Arestas arredondadas na envolvente da porta	49
Figura 42 Finalização da aplicação das placas de aglomerado	50
Figura 43 Marcação dos limites de acabamento	51
Figura 44 Acabamentos da fachada norte e poente	52
Figura 45 Aplicação de verniz incolor	52
Figura 46 Consequências da colocação posterior da janela de visita	53
Figura 47 Colocação da chapa de remate com a cobertura	53
Figura 48 Altura insuficiente para tapar a junta	54
Figura 49 Diferença de cor após uma semana	56
Figura 50 Equipamento QUV	57
Figura 51 Provetes para o ensaio de UV	58
Figura 52 Provede inicial (esq.) e após ensaio (dir.)	59
Figura 53 Espectro fotocromático dos provetes de laboratório do QUV	60
Figura 54 Espectro fotocromático dos provetes da célula	60
Figura 55 Provede inicial (esq.) Provede passado 3 meses (meio) Efeito da colocação do provede na célula após 3 meses (dir.)	61
Figura 56 Câmara de ensaio da lâmpada de xénon	63
Figura 57 Provetes iniciais 0 h	64
Figura 58 Provetes com 48 h	64
Figura 59 Provetes com 167 h	64
Figura 60 Provetes com 259 h	65
Figura 61 Provetes com 408 h	66
Figura 62 Provetes com 499 h	66
Figura 63 Evolução da alteração da cor com a lâmpada de xénon	67

Figura 64	Pó do aglomerado a) célula, b) inicial (esq.) e lâminas c) célula, d) inicial (dir.) ...	68
Figura 65	Prensa manual para obtenção da pastilha (esq.) e amostras de pó consolidadas a) cortiça inicial b) cortiça exposta (dir.)	69
Figura 66	Equipamento de bancada (esq.) e local onde a amostra é colocada (dir.)	70
Figura 67	Espectro IV do pó de aglomerado de uma amostra inicial	70
Figura 68	Espectro IV do pó de aglomerado de uma amostra exposta na célula	71
Figura 69	Comparação dos dois espectros IV	71
Figura 70	Microscópio eletrónico e cristal de germânio	72
Figura 71	Imagem de uma lâmina de aglomerado inicial ao microscópio eletrónico	73
Figura 72	Imagem de uma lâmina de aglomerado exposto na célula ao microscópio eletrónico	73
Figura 73	Comparação dos dois espectros IV resultantes de duas lâminas de aglomerado observadas ao microscópio eletrónico	74
Figura 74	Preparação dos provetes	75
Figura 75	Provetes na câmara condicionada (esq.) e balança para pesagem dos provetes (dir.)	76
Figura 76	Provete com cola impermeabilizante (esq.) e com primário (dir.)	77
Figura 77	Provete com aplicação de uma demão de primário (esq.) e colocados na câmara condicionada 23/50 (dir.)	77
Figura 78	Provete com cola impermeabilizante (esq.) e com primário (dir.)	78
Figura 79	Película de plástico a envolver os provetes	82
Figura 80	Equipamento de condutibilidade térmica	82
Figura 81	Tanque para criação de ambiente saturado	84
Figura 82	Imersão dos provetes em água	84
Figura 83	Forma de drenar a água e provetes revestidos de película de plástico	85
Figura 84	Variação da condutibilidade térmica em função da humidade relativa	86
Figura 85	Gráfico da variação da condutibilidade térmica em função da humidade relativa	87
Figura 86	Gráfico do teor de água em função da humidade relativa	87
Figura 87	Gráfico do teor de água em função da humidade relativa	88
Figura 88	Gráfico da condutibilidade térmica em função do teor de água	89
Figura 89	Tanque e colocação dos provetes	90
Figura 90	Provetes a ensaiar e máquina de tração	91
Figura 91	Rotura de três provetes	92
Figura 92	Forma de rotura	92
Figura 93	Lajetas do ensaio de envelhecimento	94

Figura 94 Provetes com termopares	95
Figura 95 Provetes com ciclo de aquecimento e com ciclo de aspersão de água.....	95
Figura 96 Provetes imersos	96
Figura 97 Tanque de gelo-degelo e câmara de ensaio	97
Figura 98 Provetes retirados da câmara de ensaio	97
Figura 99 Corte com caroteadora (esq.) Colagem das pastilhas (centro) Pastilhas coladas (dir.)	101
Figura 100 Rotura pelo aglomerado	102
Figura 101 Equipamento de nevoeiro salino e provetes.....	103
Figura 102 1º ciclo de nevoeiro salino	104
Figura 103 5º ciclo de nevoeiro salino	104
Figura 104 Tubo que permite a saída do nevoeiro	105
Figura 105 Variação da massa com ciclos de nevoeiro salino e secagem	105
Figura 106 Superfície exposta (esq.) e tardoz do provete (dir.)	106
Figura 107 Cristais observados na superfície dos provetes	106
Figura 108 Estabilização das massas em ambiente condicionado 23/50	107
Figura 109 Realização do ensaio de flexão	107
Figura 110 Esfera integradora e provetes a ensaiar	109
Figura 111 Luminancímetro	111
Figura 112 Provetes a ensaiar e placas de reflectâncias conhecidas	111
Figura 113 Câmara de combustão	114
Figura 114 Ataque de bordo e ataque lateral	115
Figura 115 Provetes ensaiados com ataque de bordo (esq.) e ataque lateral (dir.)	115
Figura 116 Excerto do boletim de ensaio de ignitabilidade.....	116
Figura 117 Imersão do aglomerado em ácido bórico a) e borato de sódio b) e secagem/estabilização.....	116
Figura 118 Provetes após ensaio com ácido bórico (esq.) e borato de sódio (dir.)	117
Figura 119 Colagem das placas para o ensaio	119
Figura 120 Provete para o ensaio de SBI	119
Figura 121 Início do ensaio – propagação de calor	120
Figura 122 Início do ensaio – evolução do ensaio	120
Figura 123 Extinção da chama e jacto de água	121
Figura 124 Provete após o ensaio SBI	121
Figura 125 Excerto do boletim de ensaio SBI	122

Figura 126 Equipamento de termografia	123
Figura 127 Sensor de temperatura superficial	123
Figura 128 Fachada Sul.....	124
Figura 129 Fachada Poente (à esq. verniz nogueira claro e à dir. verniz pinho escuro)	124
Figura 130 Fachada Poente (à esq. tinta branca sem primário e à dir. verniz pinho).....	125
Figura 131 Fachada nascente (tinta branca com primário)	126
Figura 132 Ensaio de impacto 3 J e 10 J	127
Figura 133 <i>Perfotest</i>	127
Figura 134 Resultados do ensaio de choque com carga de 3 J.....	128
Figura 135 Resultados do ensaio de choque com carga de 10 J.....	129
Figura 136 Resultados do ensaio de impacto de 6 mm, 12 mm e 20 mm respetivamente .	129
Figura 137 Medição das juntas com escala metálica (esq.) e binóculo portátil (dir.)	130
Figura 138 Piranómetro (à direita)	132
Figura 139 Medição da radiação refletida (esq.) e da radiação incidente (dir.)	133
Figura 140 Medição da radiação horizontal	134
Figura 141 Diferentes tonalidades visíveis	136
Figura 142 Após 1 e 2 semanas	137
Figura 143 Após 3 e 4 semanas	137
Figura 144 Após 5 e 6 semanas	137
Figura 145 Após 7 e 8 semanas	138
Figura 146 Após 9 e 10 semanas	138
Figura 147 Após 11 e 12 semanas.....	138
Figura 148 Após 13 e 14 semanas	139
Figura 149 Após 15 e 16 semanas.....	139
Figura 150 Após 17 e 18 semanas.....	139
Figura 151 Após 19 e 20 semanas.....	140
Figura 152 Após 21 e 22 semanas.....	140
Figura 153 Manchas de cor amarela acastanhada	141
Figura 154 Ausência de material das placas.....	141
Figura 155 Manchas amareladas no verniz branco	142
Figura 156 Textura, rugosidade e alteração do alinhamento da placa.....	142
Figura 157 Condensações na janela e porta.....	143
Figura 158 Célula com chuva (esq.) e célula após esse período (dir.)	144
Figura 159 Alteração da cor dos vernizes em 4 meses	145
Figura 160 Corte de uma pequena lâmina na célula	145

Figura 161 Manchas novas..... 146

Siglas

ICB – *Insulation Cork Board*

ETICS – *External Thermal Insulation Composite System*

VOCs – *Volatile Organic Compounds*

HR – Humidade Relativa

23/50 – Ambiente condicionado a uma temperatura de 23°C e humidade relativa do ar de 50%

UV – Radiação Ultravioleta

IV – Radiação Infravermelha

λ – Comprimento de onda em nanómetros

ΔE – Diferença de cor

QUV – Marca do equipamento de radiação ultravioleta (Q-Lab UV)

FTIR – *Fourier Transform Infrared* (Transformada de Fourier)

ATR – *Attenuated Total Reflectance* (Reflectância Total Atenuada)

ρ – Massa volúmica aparente

W – Permeância ao vapor de água

δ – Permeabilidade ao vapor de água

μ – Factor de resistência à difusão do vapor de água

λ_{10} – Condutibilidade térmica aparente a 10°C

u – Teor de água

σ_{mt} – Tensão de tração na rotura

σ_b – Tensão de flexão na rotura

$\rho_{\text{médio total}}$ – Reflectância média total

ρ_{total} – Reflectância total

L_{prov} , L_{cinz} , L_{branco} – Luminâncias

ph-h – Reflectância hemisférica-hemisférica

FS – Velocidade de propagação da chama

SBI – *Single Burning Item* (elemento isolado em combustão)

1 ■ Introdução

Numa era em que a sustentabilidade é palavra de ordem e preocupação de cientistas, economistas, governantes e cidadãos responsáveis como eu, porque não pensar soluções que possam contribuir para essa sustentabilidade de forma a proteger a Natureza e o meio ambiente para as gerações futuras? Porquê continuar a optar-se por materiais e produtos derivados do petróleo que gastam recursos e provocam sérios impactes ao planeta? É neste contexto que a escolha feita para a presente tese visa aprofundar, através do estudo realizado, a aplicação da cortiça no sector da construção.

A cortiça enquanto material natural que preserva a árvore ao ser removida, que apesar de condicionada por ciclos de extração de 9 anos e ser um recurso renovável do qual Portugal é um dos maiores produtores [1, 2], o que a impede realmente de ser uma opção mais frequente na construção através da utilização do aglomerado de cortiça expandida?

Apesar de, mundialmente, estar a ser mais utilizada na construção, em Portugal continua a não ser preferência de arquitetos e projetistas.

A cortiça é o único produto que permite a Portugal ser líder mundial na sua produção [2], o que, para além das vantagens que se procura confirmar neste trabalho, acaba por beneficiar o nosso mercado e constituir um recurso estrategicamente relevante para a nossa economia.

A versatilidade e a diversidade de características e requisitos técnicos da cortiça permitem a utilização em múltiplas aplicações. Na construção, ela cumpre simultaneamente requisitos térmicos, acústicos e também antivibráticos que podem torná-la numa solução de desenvolvimento sustentável. No entanto, as exigências de desempenho associadas a parâmetros específicos na construção podem condicionar a sua utilização quando não devidamente aplicada e/ou não utilizadas técnicas para melhoria do seu desempenho neste sector específico.

Embora a cortiça esteja a ser cada vez mais reconhecida e preferida, nacional e internacionalmente, na construção, como constituinte principal do aglomerado de cortiça expandida, há ainda algum desconhecimento sobre o seu desempenho.

Aprofundar o conhecimento através de estudos pluridisciplinares contribui, por certo, para que aquele aglomerado se torne uma opção na construção com impactes não só ambientais como económicos.

Neste estudo pretende-se desenvolver um trabalho de investigação que permita avaliar, analisar e conhecer melhor o aglomerado e a sua resposta quando aplicado como revestimento exterior. Pretende-se ainda clarificar alguns aspetos controversos da sua aplicação, nomeadamente permeabilidade ao vapor de água, alterações de cor, desempenho ao fogo, suporte ao desenvolvimento de fungos, entre outros.

Foram estas questões que geraram a motivação para observar, explorar, estudar e poder concluir sobre esta aplicação – o aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior de paredes de edifícios – poder ser ou não *tecnicamente* viável.

Os vários processos de transformação da cortiça permitem a sua utilização em diversas indústrias. É o caso da construção, como revestimentos e isolamentos; a tão conhecida e desenvolvida indústria rolheira; produtos de *design* e moda; indústria aeroespacial; indústria farmacêutica entre outras [1].

O investimento e desenvolvimento por parte das empresas de cortiça bem como de associações e empresas/instituições de investigação têm contribuído para a inovação e aperfeiçoamento das soluções com este material.

Na construção, o impacto de tais estratégias traz novas soluções principalmente na minimização dos aspetos mais desfavoráveis deste recurso natural.

O tão apregoado conceito *Green Building* e a importância que confere a soluções para os problemas de saúde, conforto térmico/acústico, qualidade do ar interior e outros problemas ambientais, exige especial atenção a aspetos arquitetónicos e a aspetos construtivos que deem prioridade à utilização de materiais e produtos com vista a minimizar prejuízos/impactos negativos para o ambiente e melhorar o desempenho funcional dos edifícios. As elevadas perdas térmicas para o ambiente por parte das edificações a que estão associadas emissões de CO₂ e outros gases, e o incremento do consumo dos recursos naturais não renováveis, como a água e o petróleo, dão força à cortiça para se tornar num produto preferencial e constituir uma aposta na sua adoção face a outros materiais que não reforcem as práticas de desenvolvimento sustentável.

A cortiça pode então integrar o processo de controlo da redução do consumo energético, especificamente se seguir o guia normativo e estiver em conformidade com as diretivas europeias e os decretos legislativos que definem a sua aplicação em novos edifícios ou em edifícios a reabilitar.

Para a indústria corticeira é essencial a preservação do montado de sobreiro. A abundância de sobreiros em Portugal é responsável por uma elevada retenção de CO₂ e pela regulação do ciclo de água nos locais onde eles se encontram e ainda para a biodiversidade e outros aspetos ambientais, sociais e económicos [1, 2].

Muito embora o sector preferencial da produção de cortiça continue a ser o das rolhas, tanto a nível nacional como internacional, o sector da construção surge em segundo lugar e de dia para dia ganha mais importância e expressão, principalmente nas exportações. Assim quanto maior e melhor for a preservação do montado, mais ganha o planeta, a sociedade, os seres humanos e a Mãe Natureza.

Este estudo divide-se em oito capítulos. Após uma breve introdução ao tema, o capítulo 2 refere o âmbito do estudo onde são descritos os objetivos e se explica como se procede ao seu desenvolvimento; no capítulo 3 faz-se uma síntese de conhecimentos sobre a solução em causa; no capítulo 4 aborda-se a matéria-prima principal constituinte do aglomerado de cortiça expandida; o capítulo 5 trata do produto em causa com a abordagem a aspetos gerais, aplicações deste produto na construção, vantagens e inconvenientes, processo de fabrico entre outros; o capítulo 6 descreve a forma como o estudo foi realizado em condições reais com a descrição exaustiva da aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior; o capítulo 7 o estudo laboratorial com a descrição dos ensaios, explicação e interpretação de resultados e por fim no capítulo 8 constata-se as conclusões obtidas com o estudo e referem-se algumas sugestões de desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 ■ Âmbito de estudo

Projetistas, arquitetos e mesmo engenheiros têm uma ideia ainda pouco clara acerca do comportamento do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior. Ideias como o material absorver e não deixar libertar a água com facilidade, ser um material que apenas serve de isolamento térmico e acústico, não podendo ser aplicado como revestimento exterior e apenas no interior e/ou como isolamento de paredes e de pavimentos de edifícios, são algumas das ideias que merecem ser clarificadas, com informação sustentada e rigorosa.

De facto há ainda muito por estudar e desenvolver relativamente a esta solução, para minimizar os inconvenientes até hoje conhecidos deste material, e que faça dele efetivamente uma opção mais vezes escolhida.

Com essa finalidade, este trabalho divide-se em duas componentes: uma estuda essa aplicação em condições reais *in situ* e outra consiste na realização de ensaios laboratoriais. A primeira só é possível por existir uma célula experimental no *campus* do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, sob responsabilidade do Departamento de Edifícios – Núcleo de Isolamentos e Revestimentos, que está construída há cerca de vinte anos. A empresa que apoia o presente estudo teve o interesse em fornecer placas de aglomerado de cortiça expandida para revestir exteriormente a célula, tornando-a como um protótipo de reabilitação com este tipo de material como mostra a figura seguinte.



Figura 1 Célula experimental antes e depois da reabilitação

À célula foi retirado do seu interior o isolamento térmico e colocado um novo revestimento exterior – placas de aglomerado de cortiça expandida –, que dada a sua espessura (80 mm) cumpre os requisitos de um isolamento térmico, pretendendo-se fazer o estudo exaustivo do seu desempenho e a observação de características essenciais de um revestimento exterior. A aplicação das placas na célula é um assunto a tratar exaustivamente neste trabalho pelos cuidados que é preciso ter ao realizá-la, pelas condições de aplicação, dificuldades que podem existir, conselhos que devem ser dados, chamadas de atenção para aspetos importantes que devem ser verificados e mesmo cumpridos e por ter sido possível assistir à sua realização. Assim torna-se possível a observação do comportamento e desempenho nas condições reais de exposição. Far-se-ão observações e ensaios *in situ*. Os ensaios laboratoriais visam estudar as propriedades mais relevantes para o desempenho da solução pretendendo-se fazer uma complementaridade com os ensaios *in situ*. Um dos objetivos deste trabalho de investigação é ainda fazer a análise crítica dos aspetos observados na célula ao longo da realização do mesmo.

É neste contexto que o presente estudo visa aprofundar e confirmar aspetos, alguns deles desconhecidos e ainda não estudados, e que têm a ver com as características que poderão fazer deste material também uma boa escolha enquanto revestimento exterior.

3

■ Síntese de conhecimentos

É objetivo deste capítulo apresentar um panorama geral sobre a aplicação de placas de aglomerado de cortiça expandida na construção. Mais especificamente indicar alguns projetos onde foi aplicado este material como revestimento exterior, algumas conclusões de estudos para caracterização do comportamento deste material e ainda investigações realizadas neste âmbito.

A utilização das placas como isolamento térmico e acústico nada tem de novo mas com a necessidade de utilizá-las com outros fins, foram-se melhorando algumas das suas características e criando assim a possibilidade da sua utilização com outros fins. Tal é o caso de começarem a ser utilizadas como revestimento exterior de paredes de edifícios, só possível pelo aumento da massa volúmica, da espessura das placas de aglomerado e poder tirar partido do seu desempenho térmico.

Em Portugal é possível observar-se o âmbito desta inovação em projetos que vão desde pavilhões, colégios, moradias, estabelecimentos comerciais até unidades hoteleiras e outros.

A aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior é relativamente recente e, como tal, existe ainda algum desconhecimento sobre o seu comportamento a longo prazo. O conhecimento mais exaustivo e aprofundado constituiu a razão para, na fase inicial deste estudo, terem-se realizado visitas a obras já concluídas e em finalização bem como recolha de informação para melhor apreciação do observado.

Os projetos visitados e estudados foram:

- Casa das Penhas Douradas – Serra da Estrela
- Estação Biológica do Garducho – Mourão
- Casa do Rio Vez – Arcos de Valdevez
- Casa da Eira – Mondim de Basto
- Café/Restaurante Jardim do Lago – Monte do Estoril
- Moradias particulares – Colares, Charneca da Caparica, Montijo

- Casa GG – Oeiras
- Pavilhão Centro de Portugal (antigo Pavilhão de Portugal na Expo de Hannover) – Coimbra
- Colégios Pedro Arrupe e Atlântico respetivamente Lisboa e Pinhal dos Frades
- Adega Quinta do Portal – Sabrosa
- Pavilhão de exposições – Paços de Ferreira
- Corkhouse – Esposende
- Logoadega – Évora
- Ecorkhotel – Évora
- Ecocabana – Cascais
- Casa dos Marcos – Montijo

Destes diferentes projetos, abaixo encontram-se alguns cuja localização, solução e estado de conservação são relevantes para perceber o comportamento do aglomerado a longo prazo.



Figura 2 Casa das Penhas Douradas



Figura 3 Estação Biológica do Garducho



Figura 4 Casa do Rio de Vez



Figura 5 Casa da Eira



Figura 6 Café/Restaurante Jardim do Lago



Figura 7 Moradia particular em Colares



Figura 8 Moradia particular na Charneca da Caparica

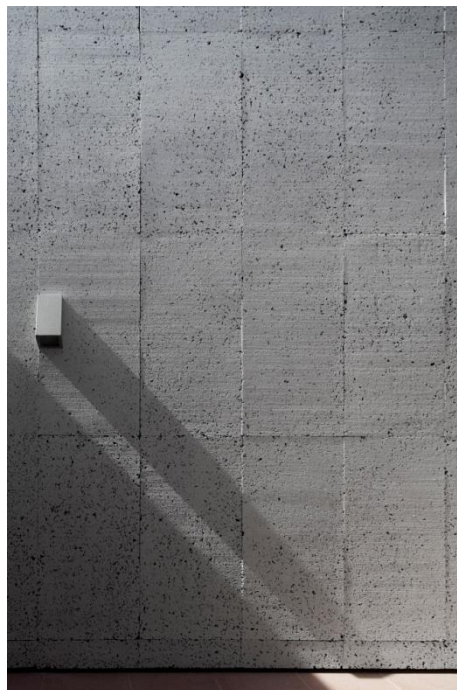


Figura 9 Moradia particular no Montijo



Figura 10 Casa GG

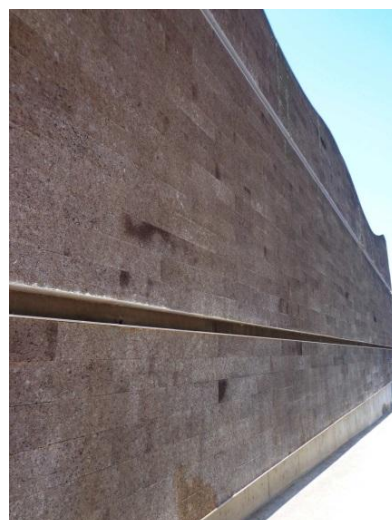


Figura 11 Pavilhão Centro de Portugal



Figura 12 Colégio Pedro Arrupe



Figura 13 Colégio Atlântico



Figura 14 Ecocabana



Figura 15 Casa dos Marcos

Apesar do número algo significativo de projetos em que as placas de aglomerado são uma opção de revestimento exterior, o seu comportamento levanta alguns problemas que fazem com que ainda continue a não ser uma solução preferida por arquitetos e projetistas.

Pôde-se constatar algumas das razões que limitam esta opção com a realização de visitas aos edifícios atrás mencionados e outros por pesquisa. Há aspetos comuns que ocorrem em condições reais e que podem estar na origem da resistência à aplicação do aglomerado como revestimento exterior. Tal é o caso da alteração da cor por incidência da radiação solar, o aspeto tosco do revestimento como acabamento, a perda de homogeneidade da cor ao longo do tempo, a vulnerabilidade a ações dos seres vivos bem como a facilidade de poder ser retirada, e alguns problemas de qualidade das placas quer no fabrico quer na colocação. Alguns destes aspetos estão a ser ultrapassados com a utilização de acabamentos especiais que reduzem alguns dos condicionalismos já referidos.

Aquando da visita ao Pavilhão Centro de Portugal – antigo Pavilhão de Portugal na Expo de Hannover (2000) – pôde constatar-se aspetos diferentes dos atrás referidos. Foi o caso da

existência de líquenes nos alinhamentos verticais ou juntas das placas na fachada a norte e que podem ser provocados por escorrências de água naquelas zonas. Também foi interessante observar nesta fachada que havia teias de aranha, provavelmente criadas devido à rugosidade do material e excelente capacidade de manter as características de isolamento térmico.

Quanto a estudos realizados sobre a aplicação de placas de aglomerado de cortiça expandida é de salientar o revestimento de fachadas e a sua integração nos ETICS. No estudo sobre as *aplicações modernas de ICB* [3] ficou esclarecida a forma correta de aplicação das placas e dos ETICS e observadas as patologias da aplicação do ICB, como revestimento exterior e dos ETICS. Também se concluiu que, segundo o ETAG 004 para os ETICS, a utilização do aglomerado melhorava as características do sistema aos choques e à perfuração, o comportamento à permeabilidade ao vapor de água, os resultados do ensaio de aderência e ainda que, face a outros materiais isolantes, o ICB reduzia a absorção de água do sistema. Concluído ficou também que o aglomerado permitia uma combustão mais lenta e que era “retardador natural do fogo”, aspetos a confirmar neste estudo.

Num outro estudo realizado sobre *inovação de produtos ecológicos em cortiça* [4] registou-se que o aglomerado de cortiça expandida quando comparado com outros materiais de construção tinha uma resistência mecânica inferior, e que era efetivamente, como sempre foi, um material combustível, por ser um material orgânico. Constatou-se que quando combinado com outros materiais era possível melhorar essas características. Também ficou referido que, através da densificação do aglomerado de cortiça, era então possível melhorar a sua resistência mecânica sem a adição de outros materiais.

Alguns relatórios, trabalhos e ensaios laboratoriais e interlaboratoriais realizados pelo LNEC traduzem o comportamento e a resposta do aglomerado face a certo tipo de ações nomeadamente: a sua deformação sob pressão constante, resistência de placas de aglomerado ao ataque da térmita, influência da massa volúmica na sua condutibilidade térmica, influência da humidade na determinação da condutibilidade térmica, tensão de rotura por flexão, compressão e tração perpendicular às faces, imersão parcial de curta duração (capilaridade), permeabilidade ao vapor de água, estabilidade dimensional com temperatura elevada (70°C) e com temperatura e humidade relativa elevadas (70°C e 90% de HR) [6,7,8,9]. Estes estudos são realizados para a caracterização do aglomerado como isolante térmico, alguns para pavimentos. Como para revestimento exterior é necessária uma massa volúmica superior à utilização enquanto revestimento térmico e de alguns revestimentos de pavimento, tentam-se “aproveitar” os estudos realizados e estendê-los ao aglomerado densificado, com bom senso e responsabilidade.

É de realçar a elevada dispersão que se obtém nos resultados dos diferentes ensaios, provenientes da inevitável variabilidade da matéria-prima utilizada no fabrico do ICB e também das suas condições de fabrico. Como tal, a gama de valores para certas propriedades e características é ampla e noutros casos superior e inferior ao que seria necessário.

A norma EN 13170-2012 [10] define todos os requisitos, propriedades, valores e limites de valores para o ICB utilizado como isolamento térmico de edifícios. Por exemplo, o teor de humidade definido não pode exceder os 8%, a massa volúmica aparente não pode ser superior a 130 kg/m³, a resistência à flexão para placas com espessura igual ou superior a 50 mm tem o valor mínimo de 110 kPa, a resistência à compressão e à tração perpendicular das faces deve ser no mínimo respetivamente 90 kPa e 40 kPa, o teor de absorção de água por imersão parcial não deve exceder 0,5 kg/m², entre outros.

Há, no entanto, certos aspetos e características, não tão importantes e não definidos na norma que podem e devem ser alvo de estudo e ensaio para o melhor conhecimento do aglomerado face a certas condições. É o caso de um ensaio realizado em 1963, de resistência ao ataque da térmita no aglomerado negro onde se concluiu que aquele material não era resistente, que *permitia a instalação de colónias no seu interior e a manutenção das mesmas, durante, pelo menos, duas semanas* [13]. Este exemplo alerta para a importância de ser dada atenção a aspetos que à partida parecem pouco relevantes.

Assim se pode concluir que o que se sabe e já se conhece hoje não é suficiente para muitas vezes pôr de lado uma solução que utiliza um produto nobre e economicamente tão importante para o nosso país.

É pela diversidade de fatores condicionantes e pela descoberta de soluções que os podem minimizar ou mesmo eliminar, num contexto de preocupação por soluções cada vez mais sustentáveis, que se vislumbra a possibilidade deste material vir a ser mais utilizado na construção e especificamente como revestimento exterior.

4 ■ A cortiça

Todas as árvores produzem cortiça mas o sobreiro é o único que produz esta camada suberosa (*Quercus Suber L.*¹) com vários centímetros à volta do tronco que tem a propriedade de, após ser retirada, autorregenerar-se. A sua função é proteger a árvore do frio, calor e perda de humidade, isolando-a e também defendendo-a dos ataques ou danos provocados pelos animais e pelo fogo [1]. É o único material natural renovável do tronco da árvore para construção cuja remoção não danifica a árvore e que tem bom desempenho térmico e acústico, uma elevada resistência ao desgaste bem como boas características de apoio antivibrático. A versatilidade de aplicação e o respeito pelo ambiente no que toca a todo o processo de produção (momento da extração até à reciclagem) fazem da cortiça um material de excelência na construção civil, quando bem aplicado.

Estas características devem-se à sua estrutura celular que define uma espécie de colmeia de pequenas células de suberina (ácido complexo) preenchidas com uma mistura gasosa muito semelhante à do ar [1, 3].

No sobreiro, a produção da cortiça é conseguida a partir do felogénio existente entre o entrecasco e a cortiça, sendo o grande responsável pelo aumento do entrecasco [2].

Portugal é o país líder na produção e transformação da cortiça e é responsável por cerca de 33% da sua extração. *Fonte APCOR*

A utilidade e criatividade do Homem aliadas às características únicas da cortiça fizeram com que fossem produzidos objetos para o dia-a-dia jamais esquecidos.

Foi na China antiga, 3000 a.C., que foi encontrada cortiça usada em bóias para pesca. Em túmulos do antigo Egipto foram encontradas ânforas fechadas com cortiça. Também na Grécia antiga era utilizada no fabrico de bóias para redes de pesca, sandálias e tampas para recipientes de vinho e azeite. Os romanos também produziram cortiços; utilizaram placas de cortiça em telhados, bóias, tampas de recipientes, calçado feminino de inverno e utilização com fins medicinais [1].

¹ *Quercus = carvalho, Suber = produzir invólucros no tronco e ramos, que depois de extraídos regeneram [2]*

Em Portugal, começou por ser utilizada na construção de navios e caravelas e no século XIV já era produzida e transformada para ser exportada para Inglaterra [1].

O maior crescimento da indústria corticeira ocorreu no final do século XIX, quando os barris de vinho, já utilizados pelos romanos, foram substituídos pelas garrafas. É inquestionável a durabilidade e funcionalidade da cortiça ao serem encontradas numa cave em Indre e Loire, em 1956, garrafas de vinho cuja data era 1789 e com rolha de cortiça, onde ficou claro o papel desta na conservação e preservação do vinho [1].

No final do século XIX um fabricante americano de coletes salva-vidas, que os fabricava enchendo-os de granulado de cortiça, acidentalmente descobriu o aglomerado de cortiça. Este é o marco de uma nova era de aproveitamento dos resíduos de cortiça bem como da cortiça de menor qualidade que não tinha qualquer valor comercial, passando assim, todo o material, a poder ser aproveitado e utilizado para algum fim. Mas foi só nos anos 60 que empresas portuguesas começaram a investir na modernização das suas fábricas. Anteriormente a produção de cortiça era controlada por empresas multinacionais. Hoje em dia a indústria corticeira portuguesa detém mais de 2/3 da produção da cortiça mundial [1].

É uma dádiva da Natureza que a Humanidade aprendeu a extrair, trabalhar e a utilizar desde há milhares de anos.

A cortiça é um tecido suberoso e este forma uma estrutura de células de 20 a 30 μm que contêm um gás cuja composição é muito semelhante à do ar, como referido anteriormente. Observa-se que um milímetro de cortiça é constituído por 30 camadas de células e que um milímetro cúbico chega a ter entre 20000 a 40000 células. As paredes do tecido suberoso são compostas por camadas finas de suberina e cera responsáveis pela massa volúmica do material, pela sua impermeabilidade ao ar e a líquidos e por ser resistente a alguns produtos [1].

A excelente resiliência que a cortiça possui é devida à ondulação que as paredes apresentam. A temperatura influencia particularmente o comportamento a nível celular da cortiça: a um aquecimento da ordem dos 250°C é possível observar que as células expandem e as suas paredes endireitam-se, aumentando o volume (duas vezes maior) [1].

A compressibilidade, elasticidade e a forma hexagonal das células fazem da cortiça um material natural extremamente anisotrópico. Ao deformar a cortiça, pode observar-se que as células dobram e encolhem, indicando que sofre deformação elástica não linear. Quando se sujeita à tração, as paredes são esticadas e ficam mais estreitas. No caso de compressão axial não provoca expansão lateral pois as células acabam por encolher [1].

Ao submeter a cortiça a elevadas temperaturas e através do aquecimento com vapor de água, obtém-se o aglomerado de cortiça expandida, o que altera as propriedades e estrutura da cortiça através do aumento da sua massa volúmica.

Por ser um material natural, a cortiça tem alterações ou defeitos naturais, que podem ser causados por fenómenos genéticos e ambientais e que podem condicionar a sua utilização e aplicação.

A composição química da cortiça é definida pelos principais constituintes químicos:

- 45% de suberina – principal constituinte das paredes das células e que é responsável pela elasticidade da cortiça e sua resiliência;
- 27% de lenhina – composto ligante e isolante;
- 12% de polissacáridos e celulose – constituintes das paredes das células e contribuem para a definição da textura da cortiça;
- 6% de taninos – compostos polifenólicos que originam a sua cor;
- 5% de ceras ou ceroides – compostos hidrofóbicos responsáveis pela impermeabilidade da cortiça;
- 5% de cinzas – que fazem parte do pó lenticular da cortiça [3].

Os polissacáridos e as ceras podem iniciar a sua decomposição a aproximadamente 150 °C, sendo a suberina parcialmente decomposta. Só à volta de 350 °C é que se decompõe totalmente e a lenhina sofre reações de condensação [3].

O processo operativo da preparação da cortiça consiste na extração da cortiça do sobreiro, sua estabilização, cozedura, estabilização pós-cozedura, recorte e traçamento e escolha da prancha.

Os produtos com cortiça são variados e variados são também os processos de transformação. A cortiça pode ser utilizada naturalmente, sem qualquer alteração como nas rolhas e discos de cortiça natural, mas também sujeita a processos especiais como no caso dos vários tipos de aglomerados, nomeadamente:

- Aglomerado puro expandido ou aglomerado de cortiça expandida
- Aglomerado composto
- Aglomerado composto de cortiça e borracha
- Granulado expandido
- Granulado não expandido

Na construção de um edifício, as principais opções de utilização da cortiça são como isolamento térmico e acústico (também absorção acústica), revestimento e decoração.

Estas aplicações podem ser feitas em placas de aglomerado de cortiça expandida, em granulado expandido ou não expandido e ainda em regranulado.

5. ■ Aglomerado de cortiça expandida

5.1 Aspetos gerais

Também conhecido como aglomerado negro de cortiça, o aglomerado puro expandido ou de cortiça expandida é constituído por falca e a designação “negro” advém da sua cor pós-fabrico. A falca é o material que resulta da poda e limpeza dos sobreiros e é um tecido misto de cortiça, entrecasco e lenho. Na sua constituição pode ser utilizada a cortiça de pior qualidade, pois não tem intervém diretamente na qualidade do aglomerado.

A matéria-prima é colocada em autoclaves e, através do vapor de água sobreaquecido a 350-370 °C, os grânulos de cortiça expandem e exsudam a sua própria suberina sob a forma de resina que os aglomera sem qualquer tipo de aditivos artificiais. Deste processo resulta um bloco de cortiça expandida que, após estabilização, é retificado e cortado em placas de diferentes espessuras.

A estrutura da cortiça é constituída por células fechadas e os seus poros não têm qualquer abertura para o exterior, o que faz com que a cortiça tenha uma absorção sonora muito fraca. Apesar disso, a porosidade do aglomerado puro expandido é aberta entre os grânulos e a densidade do aglomerado diminui à medida que o volume entre os poros aumenta, o que faz com que o coeficiente de absorção sonora aumente por dissipar mais facilmente a energia resultante da deformação da cortiça.

No âmbito da térmica, o aglomerado de cortiça tem uma função de isolamento térmico impedindo a transferência de calor entre ambientes com diferentes temperaturas e diminuir assim as perdas de energia e a condensação superficial de humidades em paredes e tetos. É atualmente a aplicação mais relevante.

No campo da acústica e como atrás referido, a sua boa capacidade de absorção sonora diminui o tempo de reverberação bem como a transmissão de som por impacto. A aplicação do aglomerado num pavimento ou parede, garante a absorção de uma parte da energia total do som incidente, diminuindo assim o som refletido. Para a correção acústica deverão ser utilizados grânulos de menor calibre, que apresentam massa volúmica inferior, e permitem um acabamento superficial mais cuidado face ao utilizado na térmica.

Para isolamento vibrático são usadas massas volúmicas superiores até um limite imposto pelo processo de fabrico.

Este produto é igualmente vantajoso para a redução de vibrações provocadas por máquinas e aparelhos: pode servir de amortecedor dessas vibrações.

Principais características do aglomerado puro expandido: (*adaptado APCOR*)

1. Matéria 100% natural e renovável
2. Processo industrial sem utilização de aditivos
3. Massa volúmica 85-190 kg/m³
4. Coeficiente de condutibilidade térmica: 0.038-0.045 W/m.K
5. Isolamento acústico para sons aéreos e sons de percussão
6. Propriedades mecânicas
7. Estabilidade dimensional
8. Comportamento ao fogo – classe E
9. Durabilidade com a manutenção das suas características, quando de boa qualidade
10. Totalmente reciclável e reutilizável

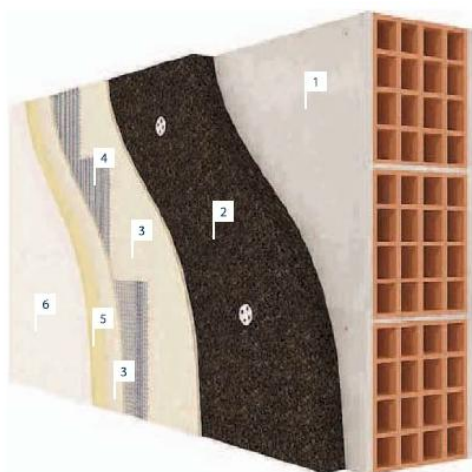
O aglomerado puro expandido é uma boa opção técnica para isolamentos térmicos, acústicos e antivibráticos e é, acima de tudo, uma solução natural para uma construção mais sustentável.

5.2 Aplicações do aglomerado de cortiça expandida

Podem ser inúmeras as aplicações do aglomerado de cortiça expandida. As aplicações mais comuns são como revestimento de fachadas; isolamento térmico e acústico de paredes exteriores² e interiores; isolamento térmico e acústico de coberturas planas e inclinadas; como isolamento térmico e acústico de estruturas de betão; isolamento antivibrático; isolamento térmico e acústico de pavimentos; isolamento térmico e acústico de câmaras frigoríficas; enchimento da caixa-de-ar em soalhos e, quando transformado em regranulado (trituração do aglomerado) como agregado de betões e de argamassas leves e também enchimento de vazios e espaços de ar em soalhos [14].

² É possível aplicar placas de aglomerado como revestimento exterior de paredes e quando a espessura é pequena (menor que 40 mm), é necessário que se coloque um reforço de isolamento na parede.

A aplicação do aglomerado de cortiça expandida como isolamento térmico de fachadas é caracterizada pela colocação de placas deste material nas fachadas através de fixação mecânica ou de colagem. Esta aplicação pode constituir o sistema ETICS (figura 16), uma fachada ventilada (figura 17) ou servindo mesmo como acabamento final da fachada (figura 18). No sistema ETICS, e tal como referido anteriormente, as placas de ICB constituem a camada de isolamento térmico e acústico do sistema, conferindo uma maior resistência aos choques e impactos, corrigindo as pontes térmicas dos edifícios e contribuindo ainda para a diminuição da espessura da parede pois é possível executar paredes simples de tijolo de 22 ao invés de paredes duplas com isolamento térmico na caixa-de-ar [16].



1. Parede 2. Aglomerado de cortiça expandida 3. Barramento 4. Rede de fibra de vidro 5. Primário Acabamento final

Figura 16 Solução ETICS³



1. Aglomerado de cortiça expandida 2. Montantes 3. Revestimento de pedra

Figura 17 Fachada ventilada⁴

³ Figuras e legendas das figuras adaptadas do Catálogo da ISOCOR [14]

⁴ Figuras e legendas das figuras adaptadas do Catálogo da ISOCOR [14]

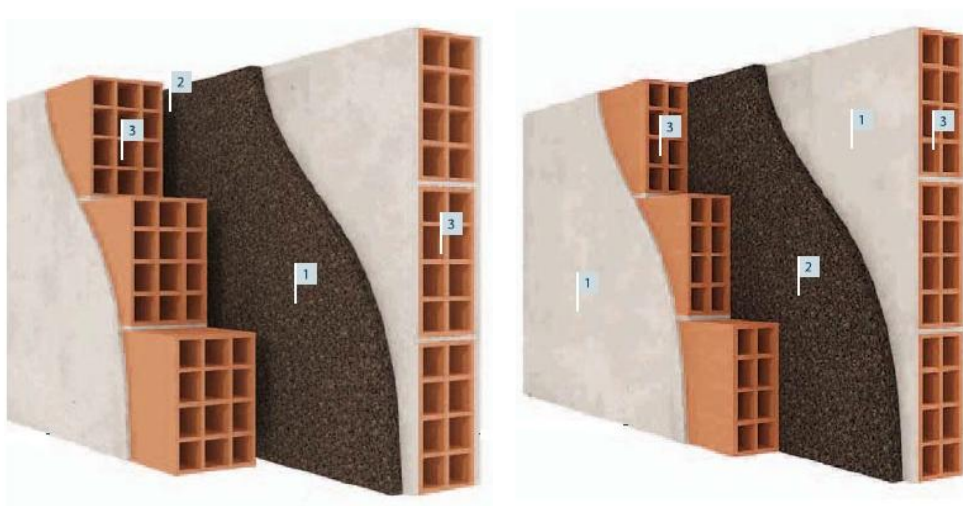
Como revestimento exterior da fachada, e utilizando o aglomerado puro expandido com uma espessura suficiente para garantir o conforto térmico do edifício, aquele pode ser considerado como uma solução económica por ser possível tirar partido das características de isolante térmico e acústico do material e não ser necessário ter na constituição da parede mais nenhum material com essas características.



Figura 18 Revestimento de fachada numa moradia

Como isolamento térmico de paredes:

- placas colocadas entre os panos de alvenaria preenchendo parcialmente
- ou na totalidade a caixa-de-ar (figura 19)



Esq. – 1. Aglomerado de cortiça expandida 2. Caixa-de-ar parcialmente preenchida 3. Parede dupla

Dir. – 1. Reboco 2. Aglomerado de cortiça expandida 3. Parede dupla

Figura 19 Parede exterior (esq.) e parede interior (dir.) ambas em alvenaria⁵

⁵ Figuras e legendas das figuras adaptadas do Catálogo da ISOCOR [14]

5.3 Vantagens e inconvenientes da utilização do aglomerado na construção

São numerosas as vantagens da utilização do aglomerado apesar de alguns inconvenientes serem, muitas vezes, condicionantes da sua aplicação.

Numa perspetiva de sustentabilidade ambiental, a principal vantagem tem a ver com ser um material natural e renovável que não danifica a árvore nem a natureza ao ser retirada. Também contribui para a limpeza e conservação do montado de sobro, minimiza o risco de desertificação por se poder realizar várias extrações de cortiça, sem matar a árvore, e ainda a sua longevidade (≈ 300 anos quando bem tratada) [15].

Opta-se pelo aglomerado de cortiça expandida como isolamento de fachadas devido à sua estabilidade dimensional, resistência a altas temperaturas (utilização entre -180 °C e $+140$ °C), isolamento a ruídos aéreos, isolamento térmico, resistência a impactos e a perfuração. A aplicação como isolamento de paredes, para além do conforto térmico e acústico que proporciona, tem estabilidade dimensional, durabilidade, capacidade de transpiração devido à porosidade e contribui para a economia energética do edifício no sentido de minimizar as trocas de calor com o exterior e ser um produto natural. Quando aplicado em coberturas com solução “tradicional” contribui para a estabilidade dimensional desse elemento, protegendo-o das variações térmicas. Serve ainda de suporte à camada de impermeabilização, sendo que deve ser previsto uma proteção adicional da mesma a fim de proteger essa camada de eventuais movimentos e degradações térmicas resultantes do aumento de variações térmicas. No entanto, a sua função principal continua a ser como isolamento térmico e acústico. A sua utilização como isolamento acústico traz benefícios pois é eficaz na correção acústica de compartimentos, reduz os ruídos aéreos e de percussão e evita ainda a propagação de vibrações existentes. No isolamento de estruturas de betão reduz o nível sonoro de ruídos de percussão, de ruídos transmitidos pelo ar, a transmissão de vibrações e as perdas térmicas entre pisos contíguos, dispensando a utilização de fixações mecânicas ou por colagem ao elemento estrutural por ficar aplicado diretamente na cofragem e aderir ao betão em contacto com ela. Como isolamento antivibrático, para além de isolar a transmissão de vibrações, suporta cargas pesadas e é resistente a óleos, água e ácidos, tem durabilidade mantendo as suas características inalteradas. A sua incorporação no sistema de pavimento radiante, para além das características de isolamento térmico e acústico, contribui como barreira ao vapor de água, é resistente à compressão e a altas temperaturas (da mesma ordem que a aplicação em fachadas e coberturas). Por fim, a aplicação do regranulado na incorporação direta no betão proporciona o aligeiramento dos pisos habitacionais e coberturas e pode ser utilizado como enchimento da caixa-de-ar em soalhos permitindo a correção térmica e acústica. Todos

estes aspetos fazem do aglomerado uma potencial opção enquanto solução amiga do ambiente.

O aglomerado puro expandido é extremamente vantajoso para suportar cargas permanentes sem que haja danificação do sistema e, novamente, um excelente isolamento térmico por minimizar as variações de temperatura a que este está sujeito e ter estabilidade dimensional [17].

Como vantagem na construção, a sua leveza, não sobrecarregando as estruturas, e a sua elasticidade natural permite que possa ser aplicado em juntas. É um material quimicamente inerte, que não reage com outros elementos químicos e em caso de pequena chama, não a propaga, acabando por se extinguir.

Outra vantagem importante é o facto de ser um material praticamente imputrescível devido à existência de taninos e de substâncias impermeabilizantes das paredes celulares e a ser resistente aos agentes biológicos.

Igualmente devido à sua composição celular, tem uma condutibilidade térmica baixa.

No seu processo de fabrico e transformação, todos os resíduos, granulados e pós gerados podem ser aproveitados para outras soluções e também como combustível, não havendo desperdícios nem restos de material que tenham que ser tratados. É também possível fazer a reciclagem das placas que foram utilizadas na construção e em processos de demolição, podendo ser transformadas em granulados [15].

Uma curiosidade importante foi a conclusão de um estudo em que o aglomerado expandido retirado da demolição de edifícios com 30 a 50 anos continuava a ter as suas propriedades físicas e mecânicas bem como o desempenho térmico muito semelhantes às do aglomerado acabado de produzir, logo é um material que dura, conserva e mantém as suas características [1].

Os principais inconvenientes estão relacionados com a reação ao fogo; com a alteração da cor quando utilizada como revestimento exterior por incidência direta de raios ultravioleta e sujeita a chuva; com a absorção de água que possa ter; quando aplicado como revestimento interior tem um cheiro inicial intenso, não muito agradável mas que é transitório (não é tóxico – classificação A+ nos VOCs) e por último o custo das placas e da sua aplicação.

5.4 Processo de fabrico

Tal como referido anteriormente, o aglomerado de cortiça expandida é um produto natural, biológico, 100% vegetal e que resulta da cortiça extraída da limpeza e manutenção dos

sobreiros. Estes processos fazem parte do ciclo de vida do sobreiro e, como tal, mantêm-no vivo e preservam o montado de sobreiro. As operações previnem o risco de propagação de incêndios pois o material, quando não removido do tronco do sobreiro na altura certa, é inflamável. Todo o material retirado, tanto do tronco como dos ramos pode ser aproveitado, com exceção para a indústria das rolhas por não ter a qualidade requerida, para os chamados aglomerados de cortiça.

Assim que o material chega à fábrica, é colocado em grandes pilhas de cortiça mais antiga e ficam cerca de duas semanas ao ar livre, podendo ou não estar à chuva ou protegidos da mesma. Caso a matéria-prima (cortiça de falca, cortiça de árvores, etc) esteja seca, pode ser utilizada de imediato.

Os ramos de esgalha provenientes da limpeza do sobreiro são colocados em máquinas que estão no estaleiro da fábrica e que fazem a extração da cortiça.

A cortiça virgem é a mais indicada para o fabrico do aglomerado porque apresenta maior percentagem de resina, o que permite a obtenção de aglomerado mais resistente e com maior dureza.

A chamada cortiça de falca, resultante dos ramos, é cortiça virgem mas com maior percentagem de madeira. Também podem ser utilizados como matéria-prima a lenha de esgalha, cortiça amadia queimada, bocados de cortiça amadia e também rolhas recicladas.

De seguida o material é colocado numa máquina trituradora, resultando em matéria de menor granulometria e tamanho. É posteriormente distribuído por granulometrias diferentes através de peneiro dinâmico e as granulometrias que não passam vão ser utilizadas como biomassa. A granulometria final que se obtém depende do tipo de aglomerado que se pretende fabricar sendo, na maioria das vezes, de 5 a 20 mm, para aglomerado acústico de 3 a 10 mm e para o térmico de 5 a 22 mm.

Posteriormente é realizada a limpeza de granulado, que cai num “tapete de limpeza” que separa a madeira e o entrecasco o mais possível da cortiça. A madeira e o entrecasco vão para um triturador de onde resulta novamente biomassa. O material escolhido segue para os silos e todo o desperdício é triturado para ser aproveitado como combustível (biomassa).

Todos estes resíduos e o pó da cortiça gerado nas várias fases é considerado desperdício e é aproveitado como biomassa para as caldeiras, não sendo necessário nenhum outro combustível.

O material segue em tapete para as grandes autoclaves onde se processa a cozedura dos blocos que origina a aglutinação dos grânulos de cortiça natural graças à injeção de vapor de água sobreaquecido a ≈ 380 °C, durante cerca de vinte minutos, dependendo este tempo

do teor de humidade do granulado, do seu volume/massa e da temperatura do vapor. O vapor de água injetado é possível graças ao gerador de vapor alimentado pela biomassa, produzido em caldeiras onde o pó de cortiça é queimado. Ocorre a exsudação das resinas da cortiça para a superfície dos grânulos e o seu aumento de volume ocorre através da introdução do vapor de água sobreaquecido que atravessa a massa de grânulos e que determina a sua aglutinação. O bloco com forma de um paralelepípedo é retirado e levado em carrinhos de transporte para arrefecimento com água a 100 °C, também fornecida pelo gerador de vapor, e para posterior arrefecimento e estabilização de 24 h no pavilhão ventilado.

O arrefecimento com água é de extrema importância pois, ao serem retirados os blocos, ocorre a carbonização do material incandescente devido à elevada temperatura. O arrefecimento com água apaga os restos de madeira em combustão. O arrefecimento e a estabilização ao ar são fundamentais para que não haja reacendimento nem ocorra a autocombustão do bloco devidas à elevada temperatura no seu interior, exigindo uma vigilância reforçada. É nesta fase que os blocos podem ficar com manchas mais escuras, da cor da madeira carbonizada, pelo facto da matéria-prima se aglutinar em demasia e não permitir a entrada de água que apaga os restos de madeira. Este problema vai ser resolvido com um sistema de injeção de agulhas que penetra em profundidade e dispersa água no interior do bloco.

Passadas 24 h os blocos são expostos ao ar livre e protegidos da chuva para estabilização dimensional. Ao fim de duas semanas estão prontos para serem retificados. Os blocos, através do processo de serragem, são transformados em placas, podendo ou não necessitar de serem lixados.

As máquinas de corte cortam e seccionam os blocos em placas com as dimensões definidas pela fábrica ou pretendidas pelos clientes. Efetua-se sempre um corte e acerto dos blocos para os defeitos ou arestas que ficam danificadas e posteriormente procede-se ao corte nas espessuras pretendidas. Devem ser evitados, através do corte, os pontos de carbonização e de acumulação de madeira queimada.

Todos os desperdícios gerados na retificação e serragem são levados a um triturador e, conforme a classificação granulométrica no peneiro de rede, são aproveitados para regranulado de cortiça expandida ou para biomassa.

É de referir que quando a placa é para revestimento exterior ou interior, é sujeita à passagem pela lixadeira, que a lixa e aspira, o que faz com que não deite tanto pó nem seja facilmente danificada.

As placas podem ter espessuras entre 10 mm a 300 mm. Se forem utilizadas como revestimento de fachadas funcionando também como isolamento térmico/acústico devem ter, no mínimo, 50 mm. Quando utilizadas para revestimento de fachada podem ter espessuras superiores. Como isolamento térmico/acústico de uma parede exterior com caixa-de-ar, parede interior em alvenaria ou mesmo parede interior em gesso cartonado devem ter, no mínimo, 40 mm. Para pavimentos e de forma a isolar ruídos de percussão, a espessura recomendada é de 40 mm.

O aglomerado de cortiça expandida tem uma massa volúmica que pode ir dos 85 aos 125 kg/m³. Este é o chamado *ICB normal*. As massas volúmicas diferentes obtêm-se dependendo da compressão a que estão sujeitos os blocos de aglomerado dentro das autoclaves. Maiores massas volúmicas são obtidas quanto mais se comprime o bloco, podendo também existir uma segunda compressão que dá origem a uma redução de 20% do volume. A massa volúmica não deve exceder os 300 kg/m³ pois valores superiores comprometem o processo de aglutinação e cozedura, impedindo a distribuição uniforme do vapor. Uma tentativa de solucionar o problema é a diminuição da espessura do bloco.

O aglomerado de cortiça expandida aplicado como revestimento exterior em paredes deve ser de *alta densidade*, sendo a sua densidade entre 145 kg/m³ e 190 kg/m³. Todo o processo de fabrico é realizado da mesma forma, o que difere é, como atrás referido, o aperto que se dá ao bloco no final da cozedura.

O *ICB normal* é sujeito a controlo diário e mensurável na fábrica e os ensaios realizados em laboratório externo são habitualmente solicitados ao LNEC (ou outro laboratório acreditado para tal), quando os fabricantes estão no processo obrigatório da marcação CE. O *ICB normal* segue a norma EN 13170 [10] e o *ICB de alta densidade* pode também segui-la pois não existe ainda nenhuma norma ou guia para massas volúmicas elevadas. O seu controlo é efetuado da mesma forma em fábrica mas por não existir normalização para aquela gama de massas volúmicas, não é possível que este tenha marcação CE.

5.5 Requisitos impostos à aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior

O aglomerado de cortiça expandida aplicado nas fachadas dos edifícios deve cumprir requisitos específicos mas não seguem nenhuma norma específica. É importante saber quais as solicitações particulares a que um revestimento exterior vai estar sujeito e quais os requisitos que deve cumprir que, para além do bom senso, deve ser a consulta de normas cujas aplicações sejam semelhantes a este aglomerado aplicado como revestimento

exterior. A única norma existente sobre o aglomerado é a EN 13170-2012 [10] e refere aspetos de produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios.

Para ser possível avaliar algumas características deste tipo de material e conhecê-lo através da sua resposta, reação ou comportamento, é possível recorrer a ETAG's, ETA's, documentos de aplicação, de homologação sobre o aglomerado ou mesmo sobre outros produtos que se assemelhem a este ou com a sua aplicação.

O ETAG 004 [11], guia para a aprovação técnica europeia referente aos ETICS, define quais são os requisitos que estes devem satisfazer para serem aprovados e especifica, camada a camada, quais as características e propriedades que devem cumprir. Poder-se-á fazer uma *interligação* justificada do aglomerado de cortiça expandida aplicado como revestimento exterior, com o sistema ETICS, cujo isolamento térmico é o ICB, com a diferença que a solução em estudo não tem revestimento de proteção e o isolamento térmico fica sujeito às condições ambientais.

Sendo o aglomerado aplicado pelo exterior e podendo ou não funcionar como isolamento térmico e acústico pelo exterior, dependendo da sua espessura, com o ETAG 004, definem-se os requisitos que o aglomerado pode e deve ter para ser utilizado como isolamento térmico aplicado pelo exterior.

Não só é importante verificar os requisitos do aglomerado como isolamento térmico comparativamente ao sistema ETICS como também como acabamento pois, neste caso, o aglomerado é o acabamento final da parede.

O ETAG refere ainda os ensaios a que os diferentes constituintes do sistema devem estar submetidos e a referência das normas que seguem.

Assim, como sistema de isolamento térmico aplicado pelo exterior, os requisitos a serem cumpridos são: resistência mecânica e estabilidade adequadas, segurança ao fogo, higiene, saúde e ambiente no que toca à absorção de água e à permeabilidade do vapor de água, segurança na utilização nomeadamente a tração perpendicular e paralela das faces, proteção contra o ruído, economia de energia e retenção do calor com base na resistência térmica do material.

Os aspetos de durabilidade e habilidade de serviço são tidos em conta no ETAG 004.

A resistência mecânica e estabilidade do material estão intrinsecamente ligadas à segurança na utilização.

A segurança ao fogo segue a Diretiva de Conselho 89/106/EEC que estabelece que as soluções devem ser projetadas de forma a limitar a origem e propagação do fogo e do fumo bem como a propagação para as construções vizinhas.

Quanto à higiene, saúde e ambiente o ETAG fornece indicações de ambiente interior, exterior e também sobre libertação de substâncias perigosas.

No ambiente interior o principal problema é a humidade, sob a forma de condensações superficiais e internas nas paredes, e a entrada por capilaridade da água, da chuva e da neve para o interior.

As paredes exteriores devem prevenir a entrada de humidade para o interior e devem resistir à penetração da água e da chuva. Quando existe uma elevada quantidade de vapor de água no interior, a escolha dos materiais e produtos adequados no projeto é essencial para que esta não permaneça no interior.

É fundamental que a parede resista ao efeito dos impactos causados pela utilização normal do edifício e mesmo impactos acidentais, de forma a impedir a entrada de água pela parede ou por algum dos constituintes da mesma que fiquem danificados. Assim, características como a impermeabilidade à água, resistência aos impactos, permeabilidade ao vapor de água e características térmicas fazem parte deste tipo de revestimento aplicado pelo exterior.

Quanto ao ambiente exterior, os constituintes, materiais e produtos aplicados nas paredes não devem libertar substâncias tóxicas ou poluentes para o exterior quando expostos ao ar, luz solar, chuvas e ventos. Assim sendo, devem cumprir os regulamentos e normas que dizem respeito à sua aplicação e localização. Também no que toca à libertação de substâncias perigosas, os ETICS, e neste caso o aglomerado negro de cortiça, só deve ser aplicado de acordo com as regras definidas pelos estados membros e também no Regulamento dos Produtos de Construção, sendo impedidos de libertar gases tóxicos, partículas perigosas para a saúde, radiações no ambiente interior bem como contaminação no ambiente exterior quando exposto ao ar, sol e água.

Para a segurança na utilização está em causa a resistência mecânica e estabilidade apesar de não estar em causa um comportamento estrutural, por se tratar de um sistema ou mesmo de um revestimento de parede. Os ETICS (ou o aglomerado de cortiça expandida) devem ser estáveis à combinação de forças geradas pelas cargas normais intrínsecas ao peso próprio, às variações de temperatura, humidade, contração natural, movimentos da estrutura e às forças do vento.

O aglomerado de cortiça expandida, segundo o ETAG 004, deve auto suportar-se sem registar deformações excessivas e prejudiciais. Também deve acompanhar os movimentos normais e naturais da estrutura principal, não abrindo fendas nem fissuras nem perda de aderência à parede com esses movimentos. Deve igualmente resistir aos movimentos devidos às variações de temperatura e de forças/pressões. O efeito de sucção do vento é de

extrema importância e o sistema deve ter resistência mecânica apropriada face às forças de pressão, sucção e vibração.

Os requisitos referentes à proteção contra o ruído são dispensáveis desde que sejam cumpridos pela parede, incluindo o sistema ETICS, e por todas as janelas, portas e outras aberturas.

Na economia de energia, o sistema ETICS e também o aglomerado de cortiça expandida em questão melhora o isolamento térmico e reduz o calor no inverno e a necessidade de ar condicionado no verão. A melhoria da resistência térmica da parede resultante do sistema ETICS e pelo aglomerado deve ser analisada e avaliada para integrar os cálculos dos regulamentos nacionais referentes ao consumo de energia. Nesta situação os benefícios deste revestimento para a parede são a condutibilidade/resistência térmica, a permeabilidade ao vapor de água (já referida anteriormente) e a absorção de água (também descrita atrás).

Os aspetos de durabilidade e de serviço dizem respeito a todas as características atrás descritas e são pré-definidas para a vida útil dos ETICS, dependendo obviamente das ações a que está sujeito. De referir que o suporte, neste caso a parede, influenciará a sua durabilidade. Assim sendo, o aglomerado de cortiça deve ser resistente e estável às variações de temperatura, humidade e contrações naturais do material. As altas e as baixas temperaturas podem causar um efeito destrutivo ou irreversível na deformação do material.

Segundo o ETAG, as temperaturas extremas a que devem estar sujeitos são entre -20 °C e 50 °C. Naturalmente a radiação solar aumenta as temperaturas superficiais do revestimento e esse aumento depende da radiação bem como da capacidade de absorção de energia da superfície, condicionada obviamente pela cor desta. Geralmente considera-se um máximo de 80 °C de temperatura superficial.

Prevê-se que este tipo de solução poderá estar sujeito a variações de temperatura da ordem dos 30 °C sem causar dano ou alteração ao sistema. Exemplo de uma variação dessa ordem pode ser a extensa exposição solar seguida de chuva intensa ou mesmo uma mudança de temperatura entre sol e sombra.

Também a prevenção da formação de fendas e fissuras é muito importante principalmente nas zonas das juntas e onde os elementos da fachada são constituídos por diferentes materiais, não tendo a mesma resposta face aos ciclos de calor e frio, dilatando e contraindo de forma diferente.

As propriedades dos materiais devem ser mantidas na vida útil de serviço dos ETICS bem como a sua qualidade, estabilidade física e química que devem estar previstas e serem conhecidas de forma a não haver surpresas no seu comportamento. Todos os materiais

utilizados devem ser naturalmente resistentes, tratados ou protegidos contra a corrosão e serem compatíveis uns com os outros.

5.6 Problemas decorrentes da aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior

Os problemas identificados nas várias visitas a obras, com o objetivo de verificar o estado de conservação das mesmas, têm a ver principalmente com a alteração de cor, manchas carbonizadas, e a ausência de material, observável em esquinas, zonas de passagem ou mesmo pequenos orifícios provocados pelas aves. Nestes casos e aquando de uma dimensão considerável, deve proceder-se à substituição da placa. Nas visitas, os orifícios deixados não são muito profundos pelo que não comprometem o seu comportamento e não atingem a camada subjacente ao revestimento.



Figura 20 Faltas de material nas placas

Em condições normais de utilização dos edifícios e mesmo em edifícios mais antigos, as placas, apesar da incidência solar direta, precipitação abundante, ciclos de molhagem/secagem frequentes, têm um bom comportamento, não apresentando deformações nem descolagem da parede; não existem fraturas mesmo em fachadas com incidência solar direta, nem presença de fungos, líquenes ou vegetação. No caso das placas danificadas, o comportamento pode ser o inverso.

Quanto à mudança de cor, nos projetos mais recentes verifica-se que o aglomerado apesar de perder ligeiramente a cor, nos meses iniciais, aclara mais ou menos conforme a estação do ano em que é aplicada (se for no verão aclara com mais rapidez do que quando aplicada no inverno), nos anos seguintes volta a ficar mais escuro. Antes de se aplicarem as placas

de aglomerado, deve dar-se atenção às manchas escuras, originadas de fábrica, pois à medida que vai ocorrendo alteração de cor no aglomerado, elas tornam-se mais visíveis. Esta alteração dá um aspeto tosco, pouco cuidado e não uniforme na fachada, para muitos inestético. Nos projetos mais antigos, observou-se efetivamente que o aglomerado tem um ciclo de alteração de cor, adquirindo uma tonalidade acinzentada.



Figura 21 Alteração de cor e manchas

Também se constatou que o aglomerado sem acabamento fica ressequido e áspero ao toque.



Figura 22 Rugosidade (esq.) e manchas carbonizadas (dir.)

Se o projetista pretender que a cor do aglomerado fique exatamente como estava inicialmente, pode ser utilizado um impregnante aquoso anti UV. No entanto, há arquitetos que gostam da mudança de cor, por considerarem ser um ciclo de um material natural e se tal acontece *naturalmente*, gostam e aceitam, razão porque muitos deles optam por esta solução. Atualmente já existem diversas cores, conforme o gosto do cliente e para tal basta aplicar uma tinta aquosa ou um verniz com cor. De referir que não deve ter acabamentos com óleos pois o aglomerado absorve-os com extrema rapidez e estes acabam por desaparecer. Têm sempre que ser de base aquosa.

Em projetos em que as placas de aglomerado estão a uma altura acessível, principalmente em escolas, é fácil retirar pequenas porções do aglomerado, tal como fazem as aves. Seria

também uma preocupação inteligente dar atenção à altura da colocação das placas para não ser possível danificá-la, ficando assim sujeita apenas às condições climáticas e naturais de exposição.



Figura 23 Aglomerado de cortiça não acessível (esq.) e acessível (dir.)

6

■ Célula experimental

Na expectativa de que o aglomerado de cortiça expandida possa ser um material mais utilizado em projetos de construção em Portugal e no estrangeiro, e especificamente aplicado como revestimento exterior, é fundamental conhecer o seu comportamento.

Foi possível revestir com placas de aglomerado de cortiça expandida, uma célula experimental localizada no *campus* do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no Departamento de Edifícios - Núcleo de Revestimentos e Isolamentos, com o intuito de avaliar e observar o seu comportamento ao longo de vários meses e sob a influência de condições diversas.

6.1 Descrição da célula experimental

A célula experimental está construída há mais de vinte anos, num terreno com uma ligeira pendente para sul, de um único piso e é constituída por quatro paredes e cobertura. Como dimensões nominais, a célula tem 3,68 m x 3,68 m com um pé direito de 2,45 m [12].

Está implantada num lintel de fundação contínuo que foi armado e betonado *in situ* e o pavimento sobre o terreno é um massame de betão simples betonado sobre uma camada de brita grossa, com acabamento afagado à talocha.

As paredes exteriores são duplas, com panos de alvenaria simples de tijolo cerâmico furado de 30 cm x 20 cm x 11 cm, assente a meia vez e com um espaço de ar não ventilado e não drenado, de cerca de 0,05 m de espessura.

O teto é constituído por uma laje de esteira prefabricada, de vigotas pré-esforçadas e blocos de cofragem cerâmicos. A cobertura é em terraço, com uma camada de regularização onde por cima se colocou uma impermeabilização líquida.

O revestimento exterior das paredes era inicialmente de argamassa de areia e de ligantes hidráulicos de cimento ou cimento e cal e a última experiência realizada na célula foi a aplicação de um reboco de cal.

O revestimento interior das paredes e teto é um estuque sintético de gesso aplicado à talocha e com acabamento liso.

A célula tem uma janela fixa, com caixilharia em PVC e vidro duplo sem dispositivo de proteção solar e a porta é também em PVC.

Executou-se, aquando da construção desta célula, uma barreira de corte na base das paredes duplas de forma a impedir a ascensão da água por capilaridade, proveniente do terreno. Assim, caso ocorra penetração da água da chuva para o espaço de ar entre os panos de alvenaria, esta deverá ficar retida na base das paredes, por falta de drenagem.

Na figura seguinte pode ser vista a célula experimental no *campus* do LNEC.



Figura 24 Célula antes da aplicação do ICB em estudo

6.2 Aplicação das placas de aglomerado de cortiça expandida

A descrição da aplicação das placas de aglomerado de cortiça expandida revela-se de extrema importância pois pretende-se chamar a atenção para certos aspetos que devem ser tidos em conta na colocação, nas dificuldades que podem ocorrer, contratempos, conselhos a reter e nas observações feitas de aspetos que devem e não devem acontecer e acima de tudo dar a conhecer a forma como se aplicam em obra as placas.

A montagem das placas na célula foi realizada em quatro dias, com alguns percalços que impediram o cumprimento dos dois dias inicialmente estabelecidos. No quinto dia foi feita a aplicação dos acabamentos (tinta e vernizes).

Dia 0:

Os trabalhos foram iniciados com a limpeza da área envolvente da célula, designadamente a limpeza e corte da vegetação e aspersão com jacto de água nas paredes exteriores para remoção da argamassa reboco de cal existente.

Dia 1:

Procedeu-se à colocação, em cada fachada, de um perfil em L de aço galvanizado, com secção de 30 mm x 30 mm x 8 mm, que serve de base de assento e arranque das placas de cortiça, aparafusado com buchas de plástico. Para a execução das esquinas, o técnico cortou metade do perfil com a rebarbadora e dobrou-o. Com o nível, marcou a lápis retas que permitiam garantir a horizontalidade na colocação do perfil, encostando-o e aparafusando-o. O perfil foi colocado a cerca de 6 cm do chão com objetivo das placas não estarem em contato com este, de forma a evitar a ascensão da água por capilaridade e o acesso direto de insetos e fungos, como visível na figura 25.



Figura 25 Colocação do perfil de aço

A diferença da espessura da placa de aglomerado (80 mm) e do perfil de arranque (30 mm) permite que, quando chover, a água que escorre pela placa não se acumule entre a placa e o perfil, evitando assim a sua concentração e a possível penetração na parede. Outra consequência daquela diferença é a falta de proteção mecânica da placa principalmente nas esquinas mais expostas a diferentes tipos de impactos.



Figura 26 Colocação do aglomerado sobre o perfil de aço

No estudo ter-se-á atenção em observar o que acontece à zona limite da chapa com a placa, nomeadamente se enferruja, se há acumulação de água e de outros elementos ou outra consequência.

Na fachada a poente aplicaram-se na fiada inferior, cinco placas com 70 mm de aglomerado e 10 mm de granito coladas entre si e em que chapa levou mais parafusos para suportar o peso da pedra e evitar que a chapa se deforme.

Passado uma hora iniciou-se a aplicação do primário. Este resulta da sua mistura com o diluente. É importante que o balde onde esta mistura é realizada seja resistente ao diluente. De seguida mexe-se com a espátula de forma a misturar o melhor possível estes dois componentes. O diluente apenas serve para melhorar a consistência do primário, tornando-a mais líquida. Aquele é volátil e ao ser aplicado em conjunto com o primário, rapidamente evapora ao ar, ficando na parede o primário.



Figura 27 Aplicação do primário nas paredes da célula experimental

O primário serve para melhorar a rentabilidade da aplicação, a capacidade de absorção pela parede, serve para selá-la, e assim impedir a desagregação das partículas. Tem ainda a função de regularizar e preparar a receção da placa de aglomerado. Deve ser colocado de

baixo para cima e apenas fazer uma vez para cima e outra para baixo. Não se deve aplicar em grande quantidade porque forma uma película demasiado espessa. O tempo de aplicação com rolo foi de cerca de meia hora e o tempo de secagem cerca de uma hora.

Enquanto se esperava, aplicou-se o primário nas placas de cortiça (com dimensões de 1000 mm x 50 mm x 80 mm) na face que fica em contacto com a parede, face essa que deve ser a mais rugosa para absorver melhor e ficar a mais lisa à vista. O primário no aglomerado tem a função de unir e assim impedir o esfarelamento da cortiça. O tempo de aplicação de primário nas placas foi de trinta minutos.



Figura 28 Aplicação do primário nas placas de aglomerado

Com a espessura de 80 mm da placa não houve necessidade de fazer um reforço nos cantos mas em caso de menor espessura deve fazer-se esse reforço. Houve dois tipos de encaixe de placas: encaixe de topo nas fachadas a nascente, sul e poente e encaixe de meia espessura na fachada a norte. No encaixe de meia espessura há garantia das juntas ficarem desencontradas de forma a evitar a circulação/acumulação da água no interior do aglomerado. No encaixe de topo o desencontro das juntas já não acontece.

Efetuuou-se o corte necessário para executar os cantos e para as placas da base que assentam na chapa de aço, lixou-se metade da espessura (passando com a lixa elétrica 1 a 2 vezes) para encaixar melhor no perfil e colou-se com cola prego (ou mástique de silicone). Colocou-se a placa no perfil e pressionou-se. Em cada placa foram colocados oito cordões de cola, quantidade aconselhada pela marca de colas para garantia de uma boa colagem.



Figura 29 Lixagem para assento das placas de aglomerado no perfil de aço

Na zona da janela utilizaram-se placas de 40 mm e 60 mm para garantir o encaixe e evitar pontos de entrada de água. Nas fachadas a nascente, sul e poente e na procura do melhor encaixe de topo das placas o esquema de colocação foi improvisado.



Figura 30 Colocação das placas com encaixe de topo (fachadas nascente à esq. e sul à dir.)

Este encaixe é mais moroso que o encaixe de meia espessura mas não se optou por este nas fachadas a nascente, a sul e a poente devido às aberturas (porta na fachada a nascente, janela a sul e também janela de visita na fachada a poente). Outra causa da morosidade deste processo foi o facto das placas não serem feitas à medida e que exigiu o corte nas esquinas e nas aberturas. O cuidado para que as juntas verticais ficassem desencontradas também fez com que fosse necessário o corte de algumas placas. A fachada sem aberturas – a norte – é a única que tem o sistema com as juntas de meia espessura.

As placas que tinham o primário aplicado, sob a ação do sol, secaram rapidamente, o que provocou a sua deformação (arqueamento); ao colá-las, foi possível verificar que ficaram empenadas e mais saídas, comparando com as que já estavam coladas na parede.

A cola utilizada nas fachadas a norte e a poente é um tipo de cola de contacto, cuja função, para além de colar, é tornar o suporte impermeável à água. Como tal, não deixa a água entrar mas será que deixa o vapor de água? Se tal acontecer poderá provocar problemas de condensações no interior da célula, também a verificar ao longo do tempo.

É também objetivo deste trabalho estudar a questão da impermeabilização da parede bem como da permeabilidade ao vapor de água, com a finalidade de se observar se a parede respira com a utilização de duas colas diferentes, a que impermeabiliza totalmente a fachada (*waterstop*) e a cola prego aplicada por cordões. Concluir da eficiência das colas, se as placas colam corretamente e se se mantêm na vertical, será uma observação a ter atenção.

A colagem foi feita da parte da tarde, com temperaturas elevadas, o que fez o suporte ficar quente e a cola bastante mais fácil de aplicar por estar mais fluida. O tempo de espera para secagem é de cerca de 25 a 30 min em fachadas não expostas ao sol, tendo sido dadas e três demãos de cola impermeabilizante com um rolo. Na célula foram dadas apenas duas por ser um caso específico de estudo e também para se testar apenas com duas demãos, atendendo a aspetos de redução de custos, incluindo da cola.



Figura 31 Aplicação da cola impermeabilizante

Dia 2:

Continuou-se com o corte e colagem das placas com as juntas de topo.

Como as placas não foram cortadas de acordo com as medidas da célula, houve necessidade de utilizar a lixadeira mecânica e a máquina de rolo de corte para acertar as esquinas das mesmas, o que dificultou a correta ligação das juntas. A lixadeira proporciona um aspeto mais semelhante ao natural.

As placas até 20 mm são cortadas com uma lâmina de corte e as placas com medidas superiores com um serrote ou com uma máquina de disco de corte.



Figura 32 Corte de placas de aglomerado com menor espessura

Procedeu-se à continuação da colagem das placas de aglomerado com as juntas de topo e na base da fachada a poente colaram-se então as cinco placas de granito. A pedra com 10 mm foi colada, com uma cola bi-componente com base polioli e isocianatos como catalisador, a uma placa de aglomerado com uma espessura de 70 mm. As juntas foram preenchidas com betume. De notar que aqui seria mais seguro e melhorava o desempenho ter a aba da cantoneira de apoio na totalidade da espessura da aplicação aglomerado+pedra pelo apoio que proporcionaria.



Figura 33 Colagem e aplicação das placas de aglomerado com a pedra de granito

Experimentou-se também naquela fachada não colocar primário na placa de cortiça a colar. O primário, como já referido, para além de dar aderência, minimiza a desagregação do suporte. A sua penetração é superficial e, como tal, tapa os poros, fazendo com que o aglomerado não se desagregue e que mesmo o pó da cortiça mais superficial fique *estável*. Não aplicando o primário, observou-se que, sendo porosa e desagregando-se facilmente, saía bastante pó, concluindo da vantagem inequívoca da aplicação do primário.



Figura 34 Colagem das placas com a cola impermeabilizante

Na fachada a norte aplicou-se a segunda demão da cola impermeabilizante (*waterstop*); nas placas de aglomerado com encaixe de meia espessura colocou-se cola em pouca quantidade, tendo mais cuidado e atenção na aplicação na parede. A parede deve secar durante aproximadamente 20 minutos e só depois se devem colocar as placas de aglomerado também com cola. Para estas placas realizou-se o encaixe também com a lixa para ajustar a placa à cantoneira.

Houve placas que não levaram primário e ao colocar a cola saíam partículas de cortiça que ficavam na cola, no rolo e na parede, ao serem colocadas. Curiosamente aconteceu a queda daquelas placas, levantando a hipótese que o primário poderá reforçar a colagem.

De seguida foi aplicado o primário às restantes placas e esperou-se 1 h para secar e ser absorvido. Voltou a aplicar-se a cola impermeabilizante que apesar de aderir melhor continua a não colar bem as placas. A vantagem é realmente não soltar os grânulos da cortiça mas no que respeita à colagem, não cola bem. Assim, as duas primeiras fiadas da fachada têm a cola impermeabilizante e as restantes têm cola prego (ou mástique de silicone) com oito cordões como utilizado nas outras fachadas. A aplicação com cola impermeabilizante demora muito tempo a ser executar e é necessário segurar nas placas cada vez que se cola uma, o que implica custos elevados sem grandes ganhos.



Figura 35 Colagem das placas com cola prego

Mestrado em Engenharia Civil – Edificações

A cola prego não é impermeabilizante mas cumpre a sua função essencial que é efetivamente colar. Em termos de rapidez de execução é melhor pois permite a aplicação em oito cordões e não em contínuo mas tendo sempre de garantir a aderência.

O encaixe de meia espessura, por defeito da colocação da cola e das placas terem estado a secar ao sol empenando, alterou o desencontro das juntas tendo estas ficado ligeiramente mais separadas.



Figura 36 Encaixe meia espessura na fachada a norte

Com a ajuda da pistola pneumática colocaram-se em apenas trinta minutos as restantes placas que preencheram toda a fachada sem ter que se esperar para colocar as fiadas que ficam por cima.

Concluiu-se esta fachada mas ficou em falta a colocação da placa na parte superior da janela na fachada a sul, terminar a fachada a nascente que irá ter uns remates finais que poderão demorar um pouco e ainda o fecho da fachada a poente.

Dia 3:

Iniciaram-se os trabalhos na fachada que estava à sombra, ou seja, a fachada a poente. Executou-se o cunhal do lado esquerdo e endireitaram-se as faces com a máquina de corte. Era evidente a diferença de textura das placas nos cantos, a qual foi corrigida com a lixadeira para deixar o aglomerado com a textura normal. Ao retirar-se o excesso de cola de uma placa soltaram-se grânulos de cortiça e de primário, o que não deveria acontecer. É expectável que o primário fique na cortiça.



Figura 37 Aplicação com a máquina de corte às placas (esq.) e arrancamento da cola prego (dir.)

Também é de referenciar o facto de as placas com cola prego e primário aderirem melhor na parede que tinha a cola impermeabilizante do que o que tinha apenas o primário, devido à maior rugosidade conferida pela cola.

Na fachada a poente foi deixada uma janela de visita com objetivo de se observar na estação de inverno a face do aglomerado em contacto com a parede.



Figura 38 Janela de visita

Avançou-se na colagem das placas com encaixe de topo e continuou a observar-se que as juntas estavam demasiado afastadas, o que irá facilitar a entrada de água. O corte das placas não devia ser feito à esquadria mas sim com 2 mm na parte de trás da placa mas esta medida acabava por dificultar o processo de fabrico. Talvez a forma de corrigir possa ser a utilização de uma retificadora de lixa, o que faria com que as juntas das placas ficassem mais disfarçadas. Uma boa estratégia para disfarçar as juntas mais afastadas é preenchê-las com pó de cortiça, tipo “serradura de cortiça”, desperdício da lixagem das

placas. Este pode ser misturado com resina de poliéster originando um produto que barrado e após lixagem, disfarça a junta tornando-a mais homogénea.

Nota-se uma diferença considerável na tonalidade da cor entre as placas colocadas há dois dias e as colocadas neste dia na fachada a nascente.

Continuou-se com a colocação das placas, agora com muitos remates e cortes, o que torna ainda mais moroso o processo. Na zona dos cabos de eletricidade, como não é possível removê-los, aplicou-se por cima e por baixo pequenas porções de aglomerado sem primário, com espessura de 30 mm, o que tornou possível manter a caixa com os fios de eletricidade.



Figura 39 Aplicação de placas de menor espessura

De seguida procedeu-se à colocação das placas na zona do tubo de queda na fachada a norte que, por estar completamente torto, dificultou o trabalho pois implicou o corte placa a placa e o seu posicionamento na vertical. A zona destes remates foi muito trabalhosa.

Preencheu-se o espaço por cima da janela com uma das placas que tinha ido para laboratório e comprovou-se que era mais densa, pois foi mais difícil de cortar e pesava mais.

A placa do topo da fachada a nascente, com 50 mm, foi cortada à medida, colada e lixada da forma mais homogénea possível. A da fachada a poente ficou a faltar. De salientar que os remates de topo com a cobertura não foram feitos nesta fase.

Dia 4:

Executaram-se os restantes remates de topo, nomeadamente da fachada a poente e a sul, dado que a fachada com as placas de encaixe de meia espessura, feitas à medida, não necessita de lixagem para o acabamento uniforme. Seguidamente cortou-se à medida e

colocou-se uma chapa zincada no parapeito da janela para proteger o topo das placas de aglomerado. Utilizou-se mástique como produto de fixação aplicado em cordões e que impede a entrada de água. De salientar que a chapa não ficou totalmente encostada à placa, de forma a servir de pingadeira.



Figura 40 Desnível de placas das fachadas nascente e sul (esq.) e chapa zincada da janela (dir.)

Para o acabamento de todas as placas que foram cortadas, utilizou-se inicialmente a máquina de rolo que desbasta e lixa, muito ao de leve, a cortiça. De seguida e para uniformizar a superfície da cortiça usou-se a lixa mecânica que permite obter a cor inicial do material. Ambos os instrumentos foram utilizados muito superficialmente.

A porta e as esquinas são considerados os locais onde mais facilmente se perde material por serem pontos de passagem e por serem sujeitos a choques. Optou-se então por arredondar apenas as arestas da envolvente da porta.

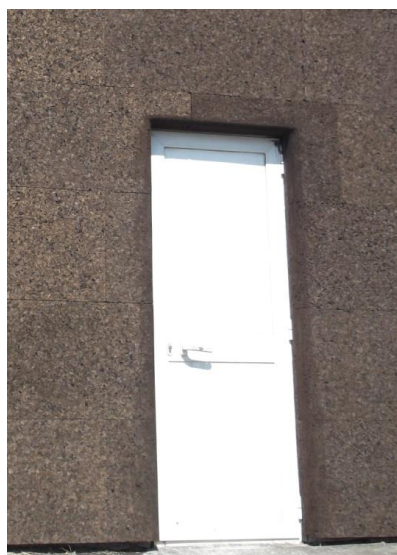


Figura 41 Arestas arredondadas na envolvente da porta

Ficou assim finalizada toda a colocação das placas de aglomerado como se pode ver na figura 42.



Figura 42 Finalização da aplicação das placas de aglomerado

Neste dia observou-se que no topo das placas de cortiça na cobertura havia uma praga de mosquitos, o que nunca tinha ocorrido ao longo destes dias.

Dia para a execução dos vários tipos de acabamento da célula experimental em estudo:

Neste dia observou-se que algumas placas com encaixe de meia espessura ficaram encurvadas. Tal não era suposto acontecer pois uma das grandes vantagens deste tipo de encaixe é permitir a variação dimensional das placas e o encaixe entre estas ser *quase perfeito*. O empenamento pode estar relacionado com a falta de rigor na colagem, principalmente porque nesta fachada se aplicaram dois tipos de cola nas diferentes fiadas: a cola prego e a cola impermeabilizante. Mas a causa principal pode ser o facto destas placas terem sido as últimas a ser aplicadas e terem ficado mais tempo ao sol do que as outras, independentemente da aplicação com o primário.

O encontro das esquinas devia estar nivelado para se notar o menos possível e as juntas deviam estar niveladas e cruzadas, o que não se verificou. Com o objetivo de impedir a entrada de água e também devido a questões estéticas, as peças das esquinas devem ser em canto ou com as juntas cruzadas.

Este foi o dia em que se procedeu ao acabamento das placas de aglomerado de cortiça expandida com a aplicação diferenciada de vernizes e de uma tinta aquosa.

Começou por se colocar fitas adesivas para definir os limites entre os diferentes acabamentos. Foram previstos quatro tipos de acabamentos: natural sem qualquer tratamento, um verniz de base aquosa com pigmento claro (verniz noqueira), um verniz

aquoso com pigmento escuro (verniz pinho) e uma tinta aquosa branca. Todos eles foram aplicados apenas nas fachadas a norte e a poente, ficando a fachada a nascente e a sul sem qualquer acabamento.



Figura 43 Marcação dos limites de acabamento

Nas fachadas a norte e a poente os acabamentos foram aplicados de igual forma, com exceção da tinta branca na fachada a poente, onde não foi aplicado o primário antes da aplicação da tinta. É objetivo desta opção observar o que sucede. É possível haver migração das substâncias superficiais e, no caso da cortiça, serão os taninos que vão dissolver-se e migrar para a tinta, manchando-a. Pretende-se observar se de facto surgem essas manchas amareladas ou não, se a tinta fica tingida, alterando-se a cor branca e o aspeto homogéneo da tinta.

A primeira aplicação foi o primário na parte da fachada a norte. O primário designa-se primário anti-manchas, tem cor branca (por servir de base à tinta branca) e é aplicado com cuidado para tapar ao máximo os interstícios. Não deve ser aplicado em excesso para que o aglomerado possa respirar. Na fachada onde foi colocado o primário – a norte – só se deu uma demão de tinta; na fachada a poente, sem aplicação de primário foram dadas duas demãos. A aplicação da tinta deve ser feita após um tempo de secagem do primário e o mesmo para quando se dá a segunda demão de tinta, devendo-se esperar também para que a primeira demão seque.

Posteriormente aplicou-se a primeira demão de verniz aquoso com pigmento castanho claro, designado por verniz nogueira, em ambas as fachadas. Este tipo de verniz para além de manter a cor castanha natural do aglomerado, faz refletir os raios ultravioleta, não os absorvendo na sua totalidade. Tem um aspeto acetinado com meio brilho. O verniz com pigmento castanho-escuro, verniz pinho, é igualmente aplicado em cada uma das duas fachadas.

Depois da primeira demão dos vernizes foi dada a segunda demão de tinta na fachada só com tinta e a seguir na fachada onde foi aplicado o primário; aplica-se depois a segunda e última demão de ambos os vernizes.



Figura 44 Acabamentos da fachada norte e poente

Apenas como experiência e para observação da sua durabilidade foi aplicado um verniz incolor na fachada a poente, desaconselhado para este tipo de acabamento pela empresa de tintas, que confere uma ligeira impermeabilização ao aglomerado mas que tende a desaparecer facilmente. Segundo informação dos técnicos, quando chove, a água provoca a criação de uma película e começa a descascar o verniz; no entanto, o verniz não desaparece na totalidade. Se não chover, mantém-se por mais tempo embora se degrade com os raios UV. Os fabricantes desaconselham a sua aplicação apesar de ser o verniz que evidencia melhor a cor do aglomerado.



Figura 45 Aplicação de verniz incolor

Os fabricantes das tintas aconselham a que sejam dadas pelo menos duas demãos de tinta e de verniz com cerca de 3 horas de espera entre camadas e naturalmente tendo em conta

a temperatura diária observada. Desaconselham a aplicação da tinta com altas temperaturas porque esta começa a formar película e não adere tão bem ao suporte.

Notou-se, na fachada a poente, especificamente na zona da janela de visita que as placas estão “inchadas”, a empenar bastante; isto poderá estar relacionado com as variações dimensionais das placas à volta da janela de visita enquanto esteve sem placa; a colocação desta, por pressão, provocou um aumento de tensão entre aquelas.



Figura 46 Consequências da colocação posterior da janela de visita

Apesar de não estar também contabilizado na duração da colocação das placas, procedeu-se à execução da montagem dos rufos que fazem o remate com a cobertura.

Dia para a execução do remate das placas de cortiça com a cobertura:

Os trabalhos iniciaram-se com o corte das chapas em U de aço zincadas, com abas de 50 mm e 8 mm de espessura para o ajuste total da sua colocação. Os limites das placas de aglomerado ao nível da cobertura em cada fachada tiveram que ser cortados e aparados para receberem por cima as chapas. Cada chapa é colocada com pressão e ajustada com o auxílio de um martelo de forma a evitar a colocação de parafusos. Na zona de junção das placas a ligação foi feita aplicando cola mástique totalmente impermeabilizante, com o objetivo de impossibilitar a entrada de água pela junta de ligação.



Figura 47 Colocação da chapa de remate com a cobertura

Com a colocação da chapa no lado esquerdo da fachada a poente, a junta de ligação entre placas abriu de imediato, como se pode verificar na figura abaixo. Mesmo martelando não foi possível fechá-la pois provavelmente a chapa exerceu uma força suficiente para a abrir e descolar a placa de aglomerado. A chapa deveria ter 100 mm de altura, de forma a tapar as juntas entre as placas mais pequenas da última fiada, em relação às colocadas na fiada subjacente como mostra a imagem.



Figura 48 Altura insuficiente para tapar a junta

7 ■ Ensaio e observações de aspetos ao longo do tempo

7.1 Ensaio laboratorial

Para o estudo em questão foi elaborado um plano de ensaios em laboratório e *in situ*, na célula experimental, com vista a caracterizar e aprofundar o conhecimento sobre o comportamento do aglomerado de cortiça expandida aplicado como revestimento exterior de paredes.

O plano de ensaios foi pensado tendo em conta o paralelo existente entre o que é lógico ensaiar face às características que são fundamentais conhecer e aprofundar num material aplicado como revestimento exterior. Para tal, a empresa que apoia o presente estudo forneceu placas de cortiça iguais às aplicadas na célula, com a mesma massa volúmica aparente e espessura, com vista a ser possível estudá-las e compará-las em laboratório e aplicadas como na realidade.

Os ensaios de laboratório realizados tiveram que ter em conta os meios e equipamentos disponíveis e possíveis de utilizar do LNEC, nomeadamente os técnicos e equipamento do Laboratório de Ensaio de Plásticos Celulares, do Laboratório de Química - Núcleo de Materiais Orgânicos, do Laboratório das Estruturas de Madeira e do Laboratório de Ensaio de Reação ao Fogo.

Também os ensaios na célula dependeram do referido embora alguns testes e experiências tenham sido realizados sem seguir qualquer normalização.

O plano de ensaios de laboratório consiste nos ensaios de:

- Exposição à radiação UV e à água
- Exposição à radiação de arco de xénon filtrada
- Obtenção dos espectros com o ATR e FTIR
- Permeabilidade ao vapor de água
- Condutibilidade térmica
- Envelhecimento
- Durabilidade

- Nevoeiro salino
- Fungos e podridões
- Reflectâncias totais
- Fogo

A escolha destes ensaios foi feita em função das dúvidas que existem do desempenho desta solução quando exposto a vários tipos de ações, da relevância que certas características têm quando se aplica um revestimento exterior, do desconhecimento de certos comportamentos e do interesse em estudar algumas características mais específicas.

7.1.1 Ensaio de exposição à radiação ultravioleta e à água

Foi o primeiro ensaio de laboratório realizado dada a evidência e a curiosidade despertadas pela alteração da cor das placas de aglomerado de cortiça após exposição às condições atmosféricas no final de apenas uma semana.

Estas alterações podem ser observadas nas imagens seguintes tiradas num espaço de uma semana.



Figura 49 Diferença de cor após uma semana

Este ensaio designa-se por ensaio de envelhecimento artificial de revestimentos por pintura e segue a NP EN ISO 11507:2011 [18]. Consiste na exposição à radiação UV fluorescente e à água. É uma norma aplicada para tintas e vernizes, razão pela qual os resultados poderão não ser tão fiáveis e as alterações poderão não ser de grande relevância.

É um ensaio que tem o objetivo de observar o que acontece ao aglomerado de cortiça expandida exposto às condições do ensaio que simulam os processos de envelhecimento que ocorrem durante a exposição natural. A norma “especifica um método de ensaio para determinar a resistência dos revestimentos por pintura ao envelhecimento artificial, num equipamento contendo lâmpadas UV fluorescentes e condensação ou aspersão de água” [18].

Estas simulam unicamente uma parte do espectro UV da radiação solar transmitindo aos provetes uma energia de radiação inferior à real. Neste ensaio pretende-se observar a alteração das propriedades do revestimento e se há degradação dos provetes devida, tal como na realidade, à incidência solar, direta ou não, e a variações de temperatura e humidade.

A câmara de ensaio designada por QUV (figura 50) simula aqueles três factores apesar de se tratar de um envelhecimento acelerado e não natural, e neste caso a norma refere que *“os resultados obtidos (...) não se relacionam necessariamente de forma direta com os resultados obtidos sob condições de exposição natural”* [18].



Figura 50 Equipamento QUV

O ensaio consistiu na colocação de quatro provetes de aglomerado de cortiça, dois com 30 cm x 8 cm e dois com 15 cm x 8 cm, colocados em três suportes ficando os mais pequenos no mesmo suporte. Os provetes escolhidos tiveram em conta a cor, a rugosidade, a percentagem de madeira carbonizada e a percentagem de poros e vazios da placa de aglomerado. As lâmpadas escolhidas foram as UVA 340, do tipo II, *“em concordância com a radiação solar na gama fotoquimicamente importante de comprimentos de onda curtos”* [18] como indica a norma e tem um pico de emissão a 340 nm pelo que a gama espectral escolhida para o comprimento de onda foi $320 \text{ nm} < \lambda \leq 360 \text{ nm}$.



Figura 51 Provetes para o ensaio de UV

Para este ensaio optou-se pelo método A que consiste na exposição incluindo condensação, com a programação de ciclos de quatro horas em que ocorre uma fase de irradiação (60 ± 3) °C seguida de mais quatro horas de condensação a (50 ± 3) °C. A duração deste ensaio foi de 500 horas com paragens para verificação das alterações nos provetes. Aquando da recolocação dos provetes na câmara e tal como indica a norma, foi alterada a ordem de colocação uma vez que a potência das lâmpadas pode enfraquecer ao longo tempo e não exercer a mesma irradiância em toda a superfície. Os provetes não são totalmente planos como indica a norma devido às irregularidades do material natural que é a cortiça e foi conservado um provete como amostra de referência.

Os resultados do ensaio foram obtidos com a paragem forçada e aleatória da câmara e com a retirada dos provetes da mesma com medição, logo de seguida, da cor em três áreas diferentes do provete num espectro fotocromático. Foi realizada não só essa medição como a observação visual das alterações que se verificavam nos provetes, à medida que eram retirados do equipamento QUV.

Os resultados encontram-se no anexo I. Na figura 52 é possível observar-se a diferença de cor no início e fim do ensaio. Pela figura 49 pode constatar-se que este ensaio não traduz o que acontece na realidade para o material em estudo. Efetivamente há alteração da cor mas não é significativa. As 500 h de ensaio equivalem a cerca de dois meses e meio de exposição natural e, graças à célula experimental bem como à observação das obras, observa-se que ao fim de dois meses a alteração de cor é bastante superior à verificada (ver figura 146 do subcapítulo 7.3).

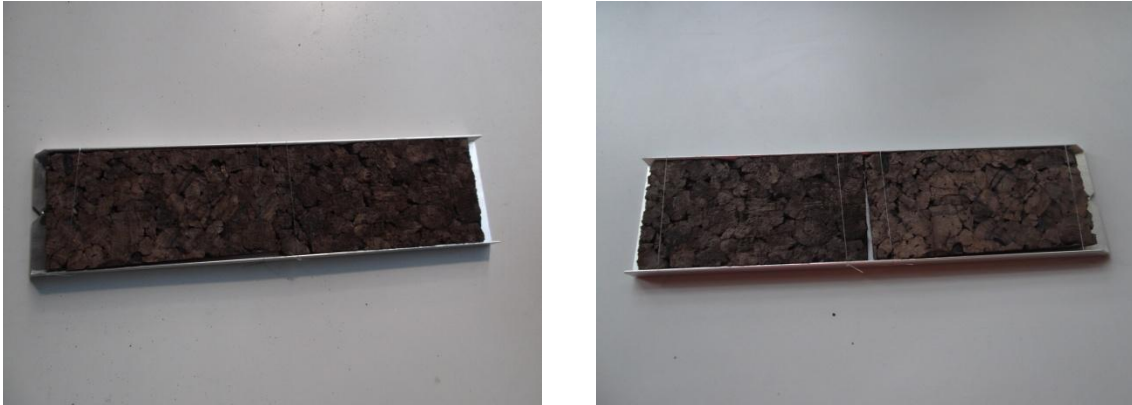


Figura 52 Provetes inicial (esq.) e após ensaio (dir.)

É de referir que houve um dia em que o alarme do equipamento disparou e ninguém o ouviu. O equipamento interrompe imediatamente o ciclo que está a decorrer parando o processo; e estima-se que o mesmo tenha estado parado durante 20 h. Os resultados poderão assim ter sido influenciados pelo tempo de paragem e de reinício do mesmo.

Como consequência da constatação atrás descrita sobre a diferença de cor, surgiu a ideia de se colocar na célula experimental quatro provetes expostos às condições ambientais normais, um em cada fachada, com exposição solar diferente. A medição da alteração da cor destes provetes foi feita, mensalmente, com o espetro fotocromático. Pelas tabelas do anexo I, facilmente se conclui a diferença que existe entre as condições reais e as laboratoriais. De reforçar que os provetes expostos à radiação solar contemplam todas as diferentes gamas de radiações e comprimentos de onda, sendo bastante mais fortes e causando mais alterações do que uma lâmpada de UVA, com um pequeno intervalo de comprimentos de onda. No primeiro ensaio verificou-se uma ligeira alteração de cor face ao segundo teste.

Nos gráficos seguintes é possível perceber a diferença existente na cor e a forma como esta se vai alterando nos provetes sujeitos ao ensaio de envelhecimento artificial QUV durante 500 h e os da célula expostos em condições reais e que foram mensalmente medidos.

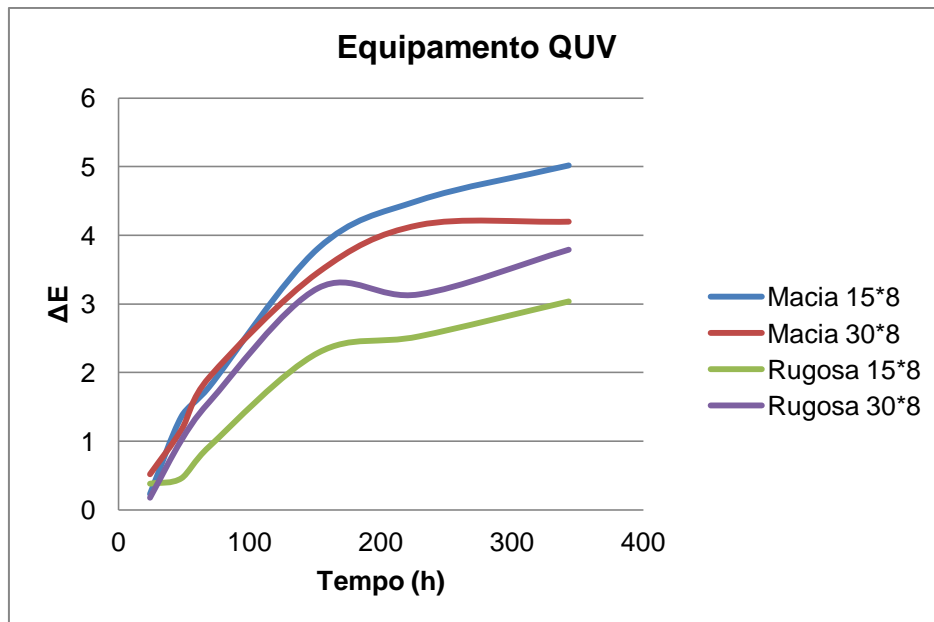


Figura 53 Espectro fotocromático dos provetes de laboratório do QUV

No anexo I encontra-se a explicação da obtenção do valor de ΔE conhecida por diferença de cor, a qual resulta do produto de três coordenadas retiradas do espectro fotocromático.

É interessante observar a diminuição da diferença de cor nos dois provetes rugosos, entre as 150 h e 230 h. Segundo os quadros A e B do anexo I, há efetivamente uma diminuição das coordenadas de Δa^* e de Δb^* nos provetes rugosos de 15 cm e 30 cm, resultando um ΔE menor. Essa diminuição representa respetivamente a diminuição da tonalidade vermelha/magenta e a diminuição de amarelo. É possível constatar no gráfico que não há uma linearidade na alteração de cor de provetes rugosos, contrariamente aos provetes lisos.

O gráfico abaixo apresenta a variação da cor dos provetes colocados *in situ* e que resulta igualmente da medição da diferença de cor obtida mensalmente pelo espectro fotocromático.

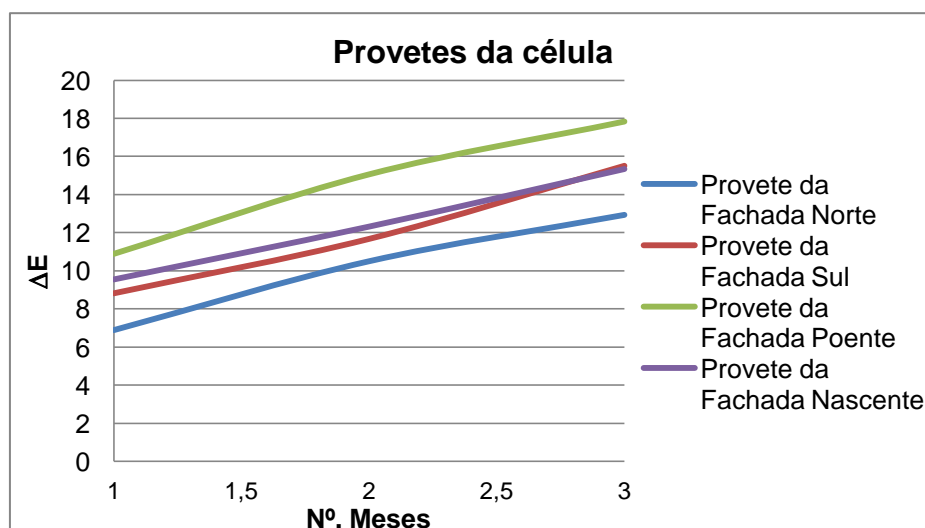


Figura 54 Espectro fotocromático dos provetes da célula

O primeiro aspeto a referir é que os três meses deste ensaio foram meses de verão (final de junho, julho, agosto e setembro). Era então expectável que a evolução do gráfico fosse significativa.

Na figura 55 é possível observar as alterações de cor na célula ao longo deste ensaio.

Outro aspeto importante refere-se ao facto de todos os provetes da célula terem a face exposta lisa/macia. Apesar dos quatro provetes estarem em fachadas com exposições diferentes, a variação da cor ao longo do tempo é relativamente semelhante, traduzida pela linearidade do gráfico. O provete da fachada a poente é o que apresenta valores mais elevados devido à maior e mais longa incidência de radiação solar. Já o provete da fachada norte é o que tem valores mais baixos de ΔE por ser a fachada que menos tempo está sujeita a radiação solar.



Figura 55 Provete inicial (esq.) Provete passado 3 meses (meio) Efeito da colocação do provete na célula após 3 meses (dir.)

Comparando os dois gráficos anteriores, é clara a existência de uma variação de cor em ambas as amostras. Foi possível observar visualmente e é também analiticamente verificado.

Em 500 h de ensaio, mesmo com uma paragem do equipamento e possível reaquisição de cor (tonalidade mais escura ocorrendo provavelmente mais nos provetes rugosos, devido à diminuição existente), provocou uma variação entre os valores mínimo e máximo de ΔE de 4,2 nos provetes com face macia/lisa exposta enquanto que a variação entre os rugosos é de $\Delta E = 3,15$. Comparando estes valores com os dos provetes expostos, a variação média de ΔE é de 6,43. Apesar de não ser uma variação significativa, os valores de ΔE iniciais são mais do dobro dos valores iniciais do ensaio de QUV. Se ambos os ensaios continuassem, provavelmente aqueles valores continuariam a subir mas com uma evolução não tão brusca.

Ambos os gráficos sugerem que pode haver uma tendência de estabilização da variação de cor.

Pelo que se observa na realidade, na célula e em obras visitadas, há um readquirir da tonalidade de cor para mais escuro após chover. No início da aplicação do aglomerado como revestimento exterior observa-se uma grande variação de cor para uma tonalidade quase branca. O revestimento não volta a ter a cor inicial, tal é constatado pelo projeto mais antigo em Portugal (Pavilhão Centro de Portugal em Coimbra) feito com esta solução que efetivamente está escuro mas não tanto como no início.

Uma conclusão importante é que as 500 h definidas pela norma não foram suficientes para comparar, com rigor, os dois gráficos. Seria interessante fazer a comparação do QUV durante três meses, sem interrupções, e verificar se os valores coincidiam com os da célula. Possivelmente isso não aconteceria pois o valor máximo obtido em 500 h do QUV não equivale ao valor inicial da diferença de cor dos provetes colocados *in situ*.

7.1.2 Ensaio de exposição à radiação de arco de xénon filtrada

Este ensaio é realizado segundo a norma NP EN ISO 11341:2009 [19] e consiste na exposição de revestimentos ao envelhecimento artificial com uma lâmpada de arco de xénon, ação da água líquida e vapor de água.

É objetivo deste ensaio a observação do efeito de envelhecimento através da observação visual e também a medição da cor no espectro fotocromático. Pretende-se comparar a alteração de cor observada por provetes colocados na célula, sujeitos ao envelhecimento natural traduzido pela radiação solar, com o envelhecimento artificial traduzido pela fonte de radiação do arco de xénon.

A radiação de xénon simula a distribuição espectral na região do ultravioleta e na região do visível.

É de salientar que durante o ensaio, na câmara de exposição, pode ocorrer uma alteração da irradiância provocada pelo envelhecimento da lâmpada de xénon e que pode causar alterações na distribuição espectral de energia e diminuição da irradiância [19]

O equipamento utilizado é uma câmara condicionada, constituída por materiais capazes de resistir à corrosão, que pode receber a fonte de radiação para a realização do ensaio de xénon e que tem ainda a capacidade de receber um tambor de dois níveis para a colocação dos provetes tal como mostra a figura 56.

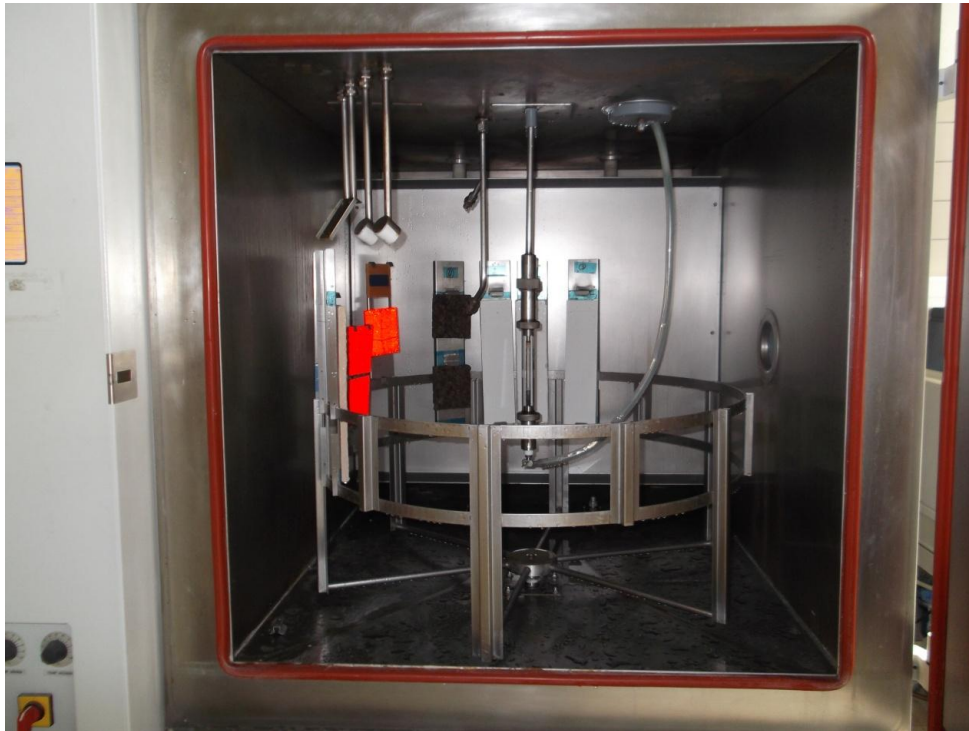


Figura 56 Câmara de ensaio da lâmpada de xénon

Pretende-se com este ensaio que a radiação emitida seja filtrada por um sistema de filtros de radiação óptica de forma a que a distribuição da energia espectral da irradiância seja entre 290 nm a 400 nm. Esta irradiância corresponde à radiação solar na zona do ultravioleta e do visível, pretendidas neste ensaio. O fluxo radiante depende da média da irradiância ao longo do tempo, no plano do suporte dos provetes, e é 60 W/m^2 .

Optou-se pelo método 1 de ensaio que traduz o efeito da chuva e condensação num ambiente exterior. A superfície dos provetes é aspergida com água destilada e estes rodam à volta da fonte de irradiação.

Os provetes devem ter dimensões que permitam ficar fixos nos suportes que são inseridos no tambor de rotação.

De acordo com a norma, o ciclo de molhagem dos provetes escolhido foi o A que é contínuo (com a lâmpada sempre em funcionamento), tem 18 min de tempo de molhagem (neste caso aspersão), 102 min de período de secagem e 40 a 60% de humidade relativa durante o período de secagem.

A duração definida para este ensaio são 2000 h e são realizadas medições da cor a 48 h, 150 h, 250 h, 500 h, 750 h, 1000 h, 1250 h, 1500 h, 1750 h e 2000 h, sempre após o final do período de secagem do ciclo correspondente.

Nas figuras seguintes mostra-se a alteração da cor ao longo destas horas.



Figura 57 Provetes iniciais 0 h

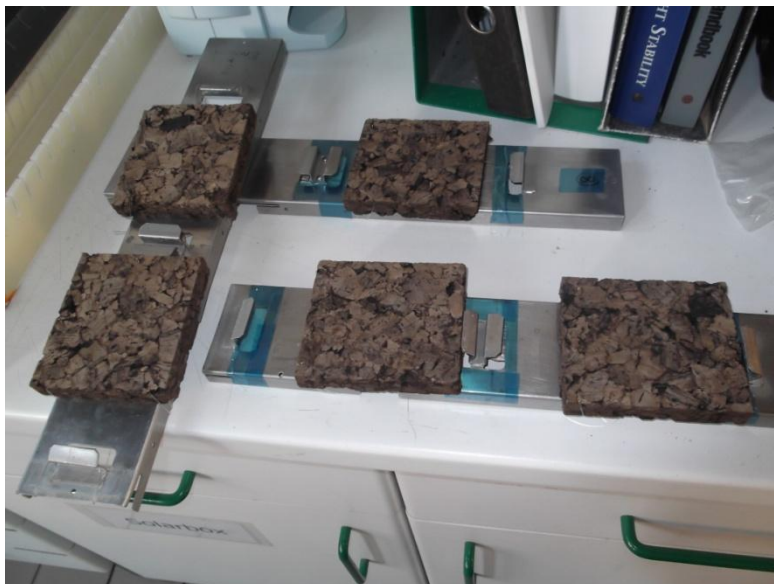


Figura 58 Provetes com 48 h



Figura 59 Provetes com 167 h



Figura 60 Provetes com 259 h

Nas figuras anteriores é perceptível a alteração considerável de cor existente nos provetes e que é bastante similar à que ocorre em condições reais.

As 259 h equivalem aproximadamente a 11 dias e, na célula, como se poderá constatar mais à frente, em 11 dias com muito sol e sem chuva as alterações de cor são muito semelhantes. Comparando com o ensaio QUV, em praticamente metade do tempo, já se obtiveram tonalidades dos provetes bastante semelhantes às tonalidades observadas *in situ* na célula. A lâmpada de xénon provoca um envelhecimento muito próximo do envelhecimento que decorre no aglomerado exposto em condições reais.

O equipamento utilizado parou às 408 h em período de chuva, perdia água assim que se reiniciava e molhava todos os tubos por baixo do mesmo, o que poderia ter provocado curto-circuito. Os provetes só seriam medidos às 500 h, pelo que não tiveram os ciclos pretendidos. Estes tiveram que secar dentro do equipamento para se poder medir a cor e o ensaio reiniciou passado uma semana.

Nas seguintes figuras observa-se a alteração visual de cor.



Figura 61 Provetes com 408 h

Curiosamente os provetes parecem ter readquirido uma tonalidade mais escura, como se poderá confirmar no gráfico da variação da cor.

Pode ser feito o paralelo com as condições reais, onde se verificou que depois de um período intenso de chuva, durante o qual os provetes absorvem muita água e ficam mais escuros, passado algum tempo de secagem aclaram mas não tanto como estavam antes do período de chuva.

Os provetes foram mantidos no interior do equipamento até ter sido realizada a reparação e, após esta, reiniciaram-se os ciclos até às 499 h. Na figura 62 são mostrados os provetes ao fim das 499 h aquando retirados do equipamento.



Figura 62 Provetes com 499 h

Ao fim de 499 h, os provetes aclararam novamente e têm uma tonalidade mais esbranquiçada como antes do problema técnico do equipamento. No gráfico abaixo observa-se a alteração da cor e a variação ao longo das 499 h.

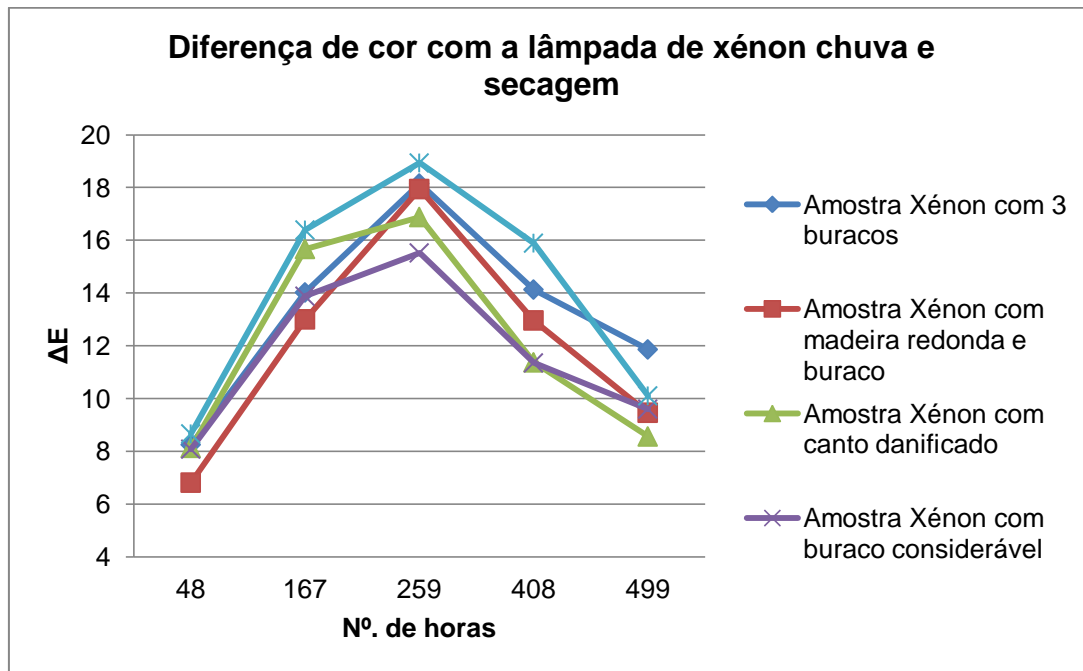


Figura 63 Evolução da alteração da cor com a lâmpada de xénon

O ΔE é obtido, tal como no ensaio de QUV, pelo produto de três coordenadas (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) como explicado no anexo I.

A diferença de cor obtida neste ensaio já permite fazer uma comparação mais consistente com a obtida nos provetes da célula expostos a radiação solar.

É interessante referir que em apenas 48h houve uma alteração bastante considerável quando comparada com os valores obtidos na célula com um mês (Ver na secção 7.3 a figura 143 da célula experimental).

Em 259 h praticamente todos os provetes, com exceção do provete 4, excederam o valor máximo obtido em 3 meses de observação, sendo possível concluir que este ciclo, com incidência de luz xénon, chuva e secagem é agressivo e envelhece o aglomerado.

Para o intervalo entre as 48 h e as 167 h a evolução do gráfico nos cinco provetes é muito semelhante. A partir das 259 h há diferenças na sua evolução.

Às 408 h, devido ao problema que o equipamento teve, os provetes tiveram bastante mais tempo para secar do que o tempo definido em cada ciclo para a sua secagem e houve uma redução nos valores do gráfico: os provetes diminuíram a sua alteração de cor e ficaram mais amarelados pelo que o valor do Δb^* aumentou. Às 499 h, apesar de, a nível visual, os

provetes estarem mais claros que o período anterior, houve novamente um decréscimo do ΔE devido à diminuição de ΔL^* (ainda que positiva, logo não mais escura).

Não foi possível obter os resultados seguintes devido à data estipulada para a entrega da tese.

7.1.3 Ensaio de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio seguinte não é normalizado e foi realizado com o objetivo de se obter os espectros de infravermelho (IV) e fazer a comparação entre as amostras de aglomerado.

Um espectro IV é obtido pela passagem de um feixe de luz infravermelha na amostra e dá a quantidade de energia absorvida pela amostra a cada comprimento de onda. O espectro resulta da absorção de radiação IV nos respetivos comprimentos de onda do IV absorvidos pela amostra.

Os espectros foram obtidos através de dois métodos distintos, nomeadamente, método de pastilha de KBr (figura 64) e microscópio eletrónico com acessório ATR (*Attenuated Total Reflectance*) (figura 65).

Para a obtenção das quatro amostras retiraram-se pequenas lâminas de uma placa de aglomerado de cortiça disponível em laboratório, com uma lâmina de corte, e pó da mesma com o dedo. Da mesma forma foram retiradas amostras da célula experimental no campus do LNEC, com três meses de exposição tal como mostra a figura 64.

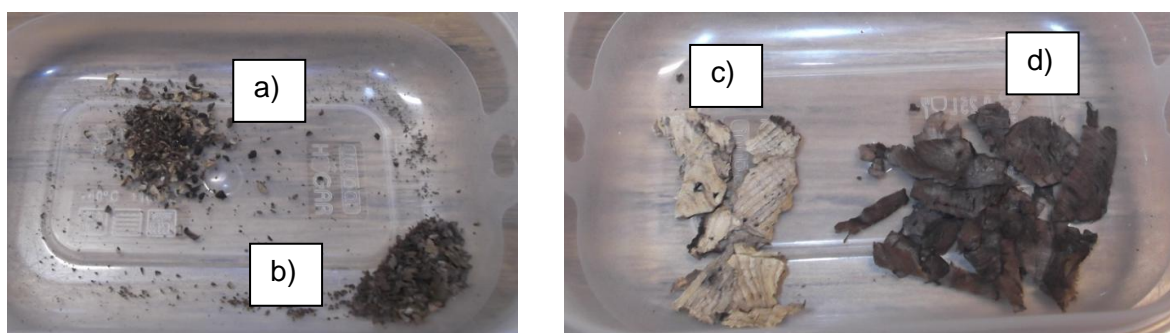


Figura 64 Pó do aglomerado a) célula, b) inicial (esq.) e lâminas c) célula, d) inicial (dir.)

As dimensões das placas de aglomerado, inicial e exposta na célula, não permitiram o ensaio de espectroscopia direto e por esta razão tiveram que ser manipuladas de forma a adquirirem dimensões satisfatórias. No caso do método de pastilha, as amostras foram reduzidas a dimensões próximas de pó (figura 64) e para o ensaio em ATR foram recolhidas pequenas lâminas de placas de cortiça. No caso das amostras expostas, a recolha foi feita com extremo cuidado para garantir que apenas se retirava amostra envelhecida. Antes dos

ensaio de espectroscopia as amostras estiveram numa estufa durante três dias a cerca de 35 °C.

Para o método de pastilha de KBr, foram selecionadas partículas de pequena dimensão, foram desagregadas ao máximo com o auxílio de um pilão, foram misturadas com brometo de potássio (o KBr é muito higroscópico, tendo que estar previamente seco) no almofariz e posteriormente colocou-se a mistura/pasta numa prensa manual durante três minutos (figura 65) para consolidar o sal, que fica transparente para o feixe de luz poder passar entre elas, e que permitiu obter o espectro.

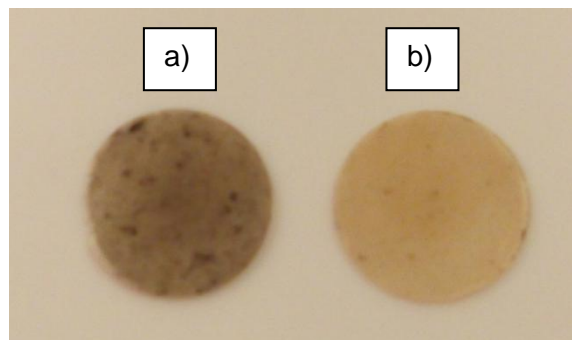
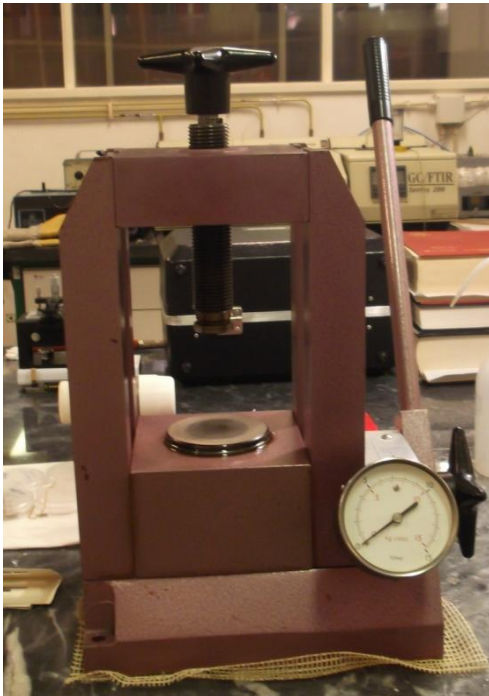


Figura 65 Prensa manual para obtenção da pastilha (esq.) e amostras de pó consolidadas a) cortiça inicial b) cortiça exposta (dir.)

As amostras são colocadas no equipamento de bancada (figura 66) que emite o feixe de luz na amostra.

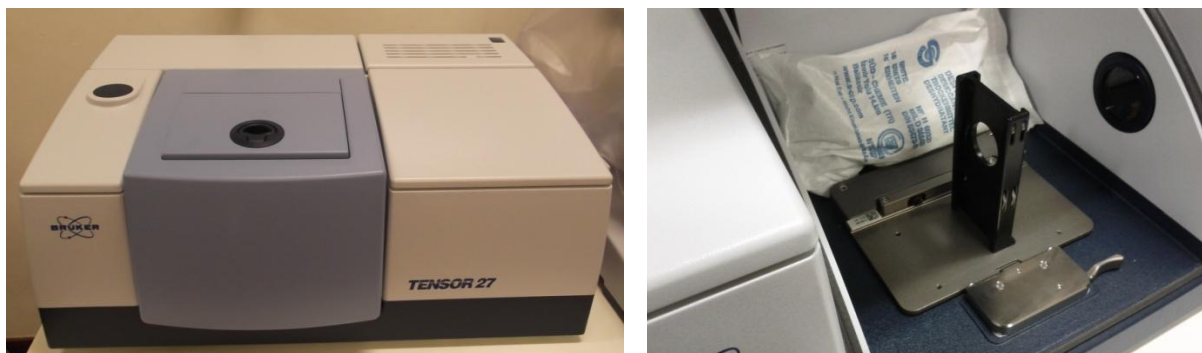


Figura 66 Equipamento de bancada (esq.) e local onde a amostra é colocada (dir.)

Nas figuras abaixo estão os espectros obtidos para cada amostra de pó.

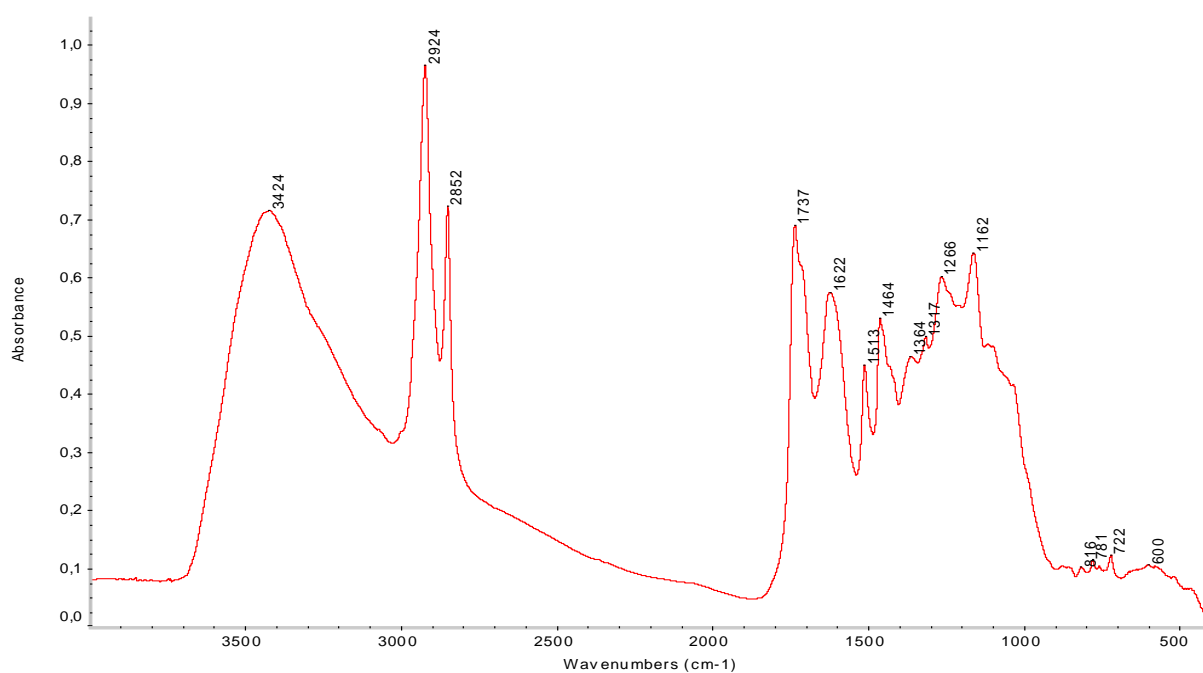


Figura 67 Espectro IV do pó de aglomerado de uma amostra inicial

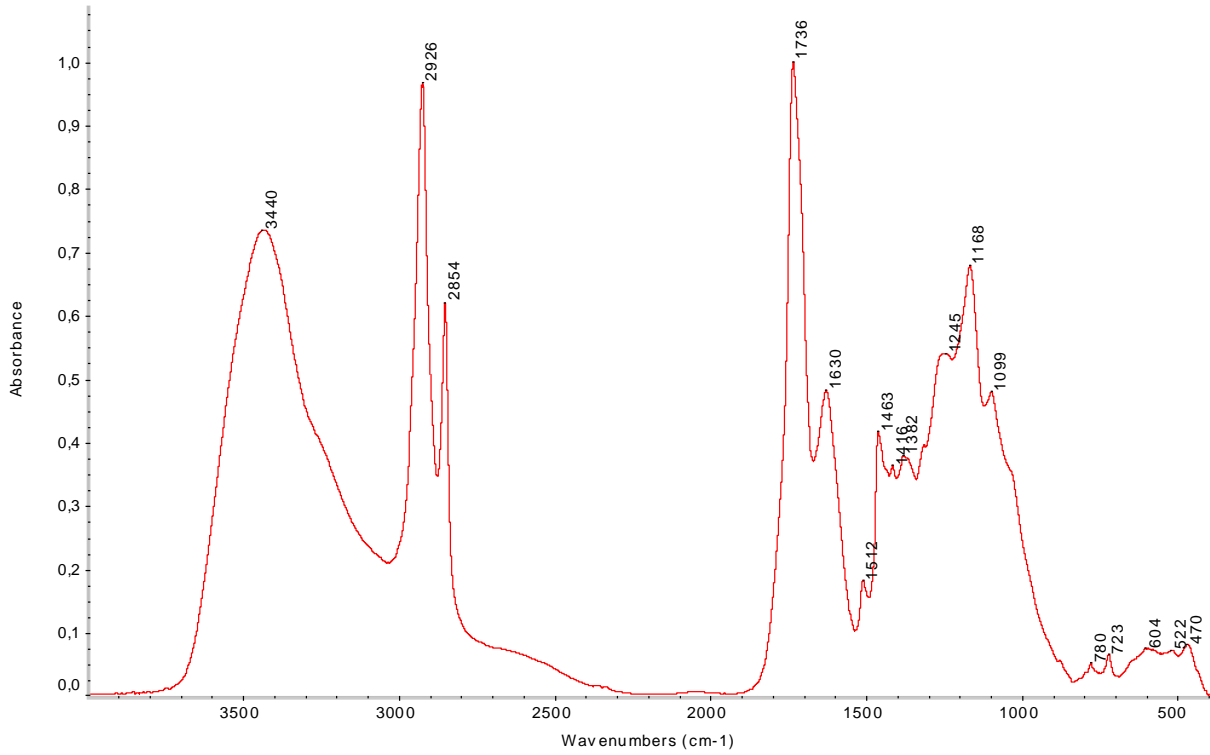


Figura 68 Espectro IV do pó de aglomerado de uma amostra exposta na célula

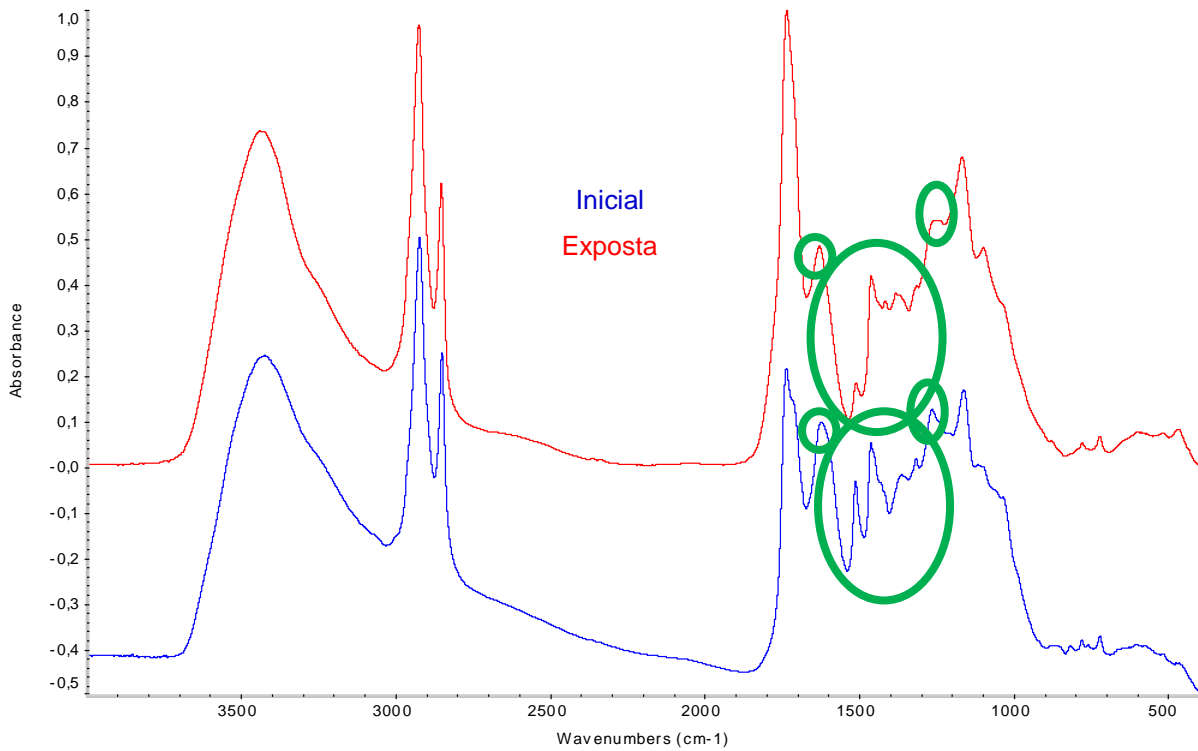


Figura 69 Comparação dos dois espectros IV

Este método permite obter valores numéricos dos picos dos espectros obtidos e é possível constatar que há um padrão semelhante entre a amostra inicial e a exposta embora os picos tenham valores diferentes.

Com o microscópio eletrónico, foi possível observar as duas lâminas de aglomerado e foram obtidos os espectros por ATR, através do feixe de luz IV que o equipamento de bancada emite e passa através do cristal de germânio que o microscópio tem (figura 70).



Figura 70 Microscópio eletrónico e cristal de germânio

O microscópio é munido de uma câmara Nikon que permite a captação de imagens. Nas duas figuras abaixo, observam-se as imagens obtidas através do microscópio eletrónico.

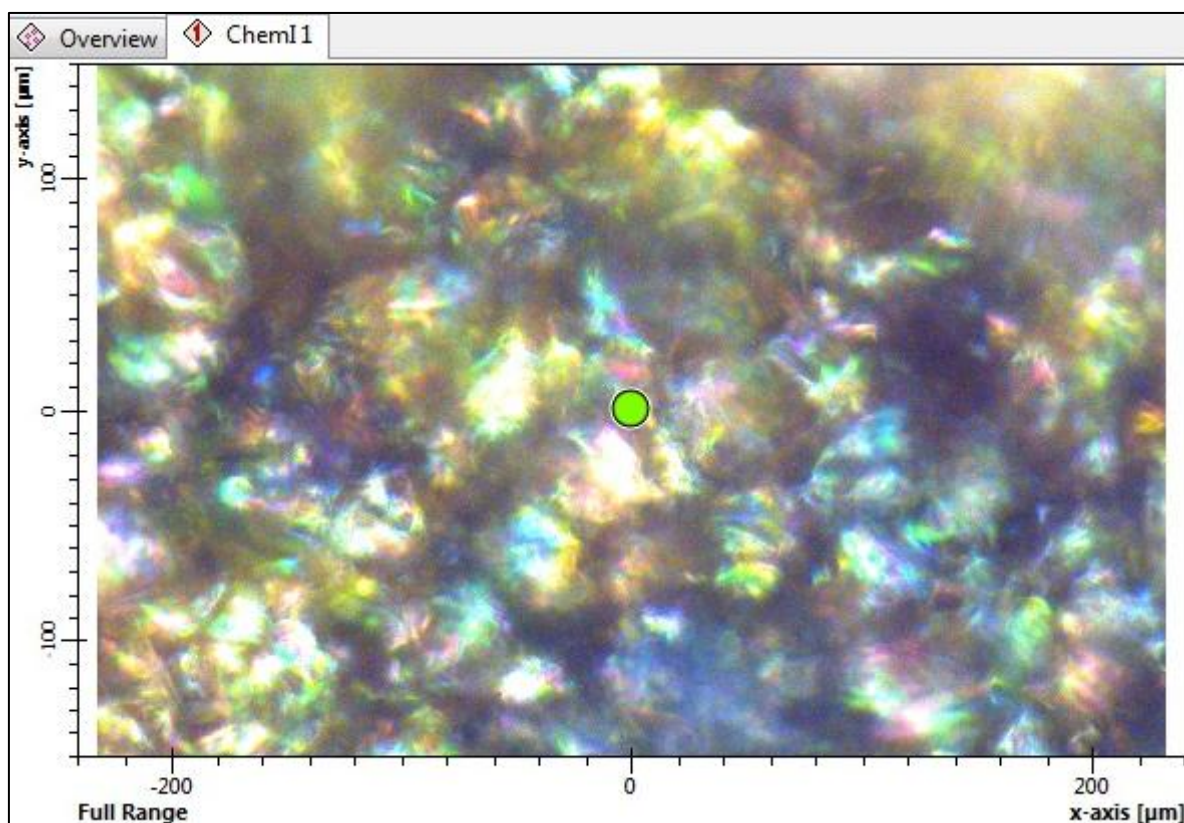


Figura 71 Imagem de uma lâmina de aglomerado inicial ao microscópio eletrónico

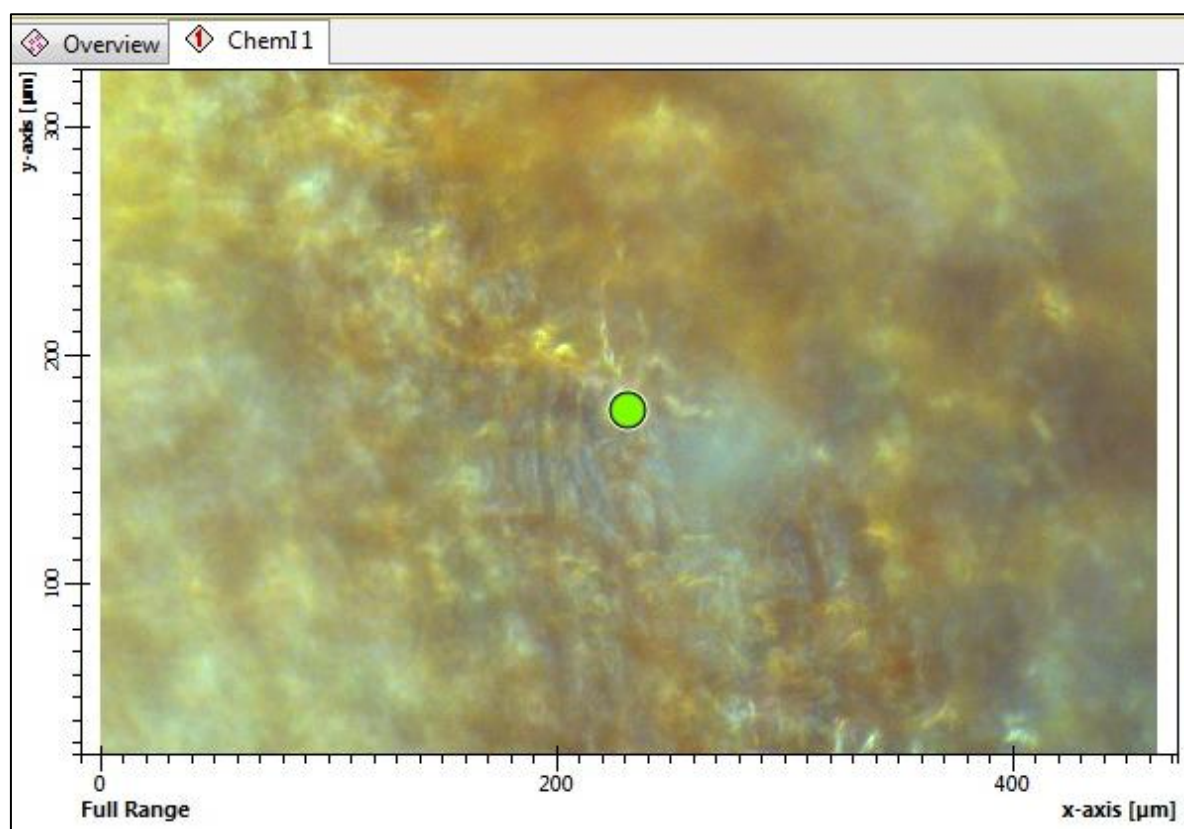
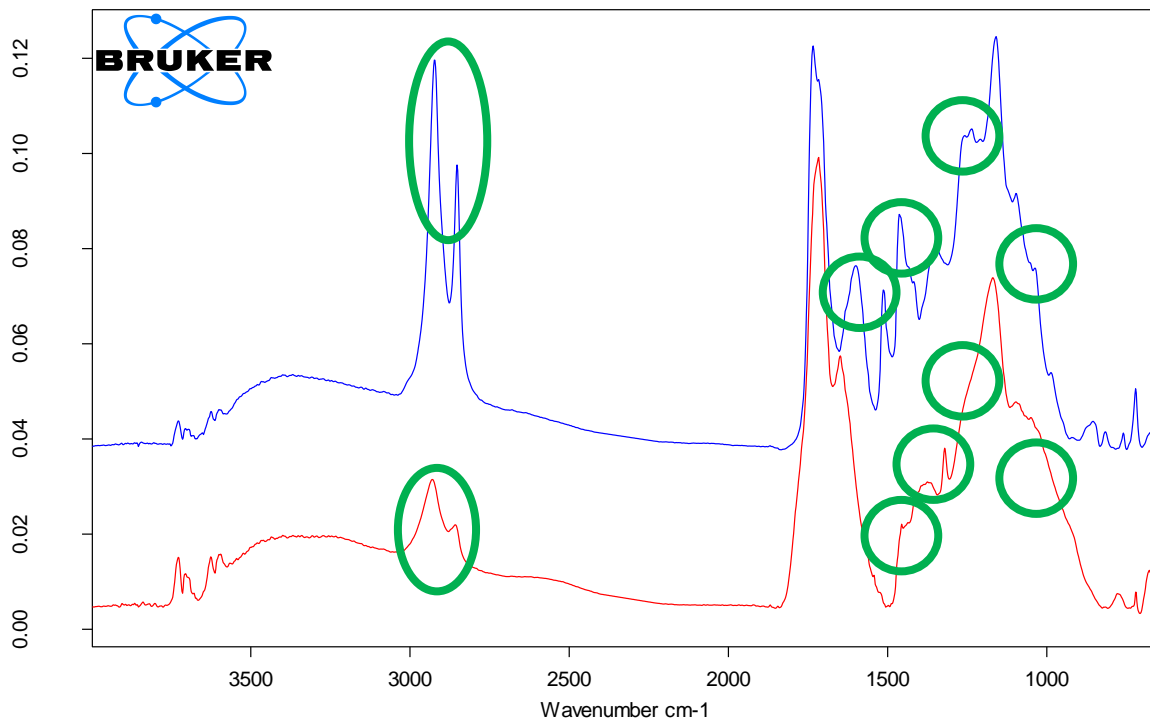


Figura 72 Imagem de uma lâmina de aglomerado exposto na célula ao microscópio eletrónico

Pela observação das imagens, nota-se claramente uma alteração do aspeto, nomeadamente na cor e no brilho que parecem ter modificado, levando a crer que alguns componentes possam ter sido degradados. Na figura 71 é mais perceptível a estrutura celular dos grânulos (embora a cor não seja a verdadeira pelo facto da imagem do microscópio eletrónico ser polarizada) ao contrário da figura 72 onde não é visível essa estrutura. Pode realmente ocorrer uma alteração da composição não detetável por este método.

A figura 73 mostra os espectros das lâminas de aglomerado de cortiça expandida inicial e da célula que também evidenciam as diferenças atrás referidas.



C:\Users\Administrator\Desktop\EXTRACT_cortica exposta.0_000000.0	cortica exposta	HYPERION 1000_20x ATR-objective_Ge-crysta	14/10/2013
C:\Users\Administrator\Desktop\EXTRACT_cortica inicial.0_000000.0	cortica inicial	HYPERION 1000_20x ATR-objective_Ge-crystal	14/10/2013

Figura 73 Comparação dos dois espectros IV resultantes de duas lâminas de aglomerado observadas ao microscópio eletrónico

Estes espectros são apenas qualitativos e serviram para comparar os espectros obtidos do aglomerado inicial e do exposto na célula.

Há claramente uma diferença notável nos picos dos espectros, aparentando existir uma diminuição dos mesmos para a amostra exposta, o que pode estar ligado à degradação superficial do aglomerado exposto na célula.

É possível constatar que, tal como no método anterior, os dois espectros são muito semelhantes embora os espectros dos dois pós (figura 69) não tenham uma diferença tão

acentuada de picos como se verifica para as lâminas (figura 73). Existe à mesma uma diferença de valores nos picos mas não é tão acentuada e pode ser que o pó exposto não adquira com tanta facilidade a degradação que ocorre na superfície das lâminas, devido por exemplo à sua leveza e poder ser facilmente levado pelo vento. A área observável da lâmina no microscópio é a área da ponta do cristal e as partículas de pó nas pastilhas são da mesma ordem de área. É interessante observar que os espectros diferem um pouco em cada método mas são mais semelhantes no caso dos pós.

A obtenção dos espectros através destes dois métodos diferentes é apenas uma aproximação, onde cada pico corresponde a uma substância que através do FTIR não é possível identificar.

7.1.4 Ensaio da permeabilidade ao vapor de água

Este ensaio segue a norma EN 12086 [20] que trata da determinação das propriedades da transmissão do vapor de água. A razão deste ensaio face ao que ocorre nas condições reais é verificar as características do aglomerado de cortiça em termos de transmissão de vapor de água, ao separar ambientes com diferentes pressões de vapor. Aquelas características têm a ver com a existência de um ambiente interior seco e outro ambiente com humidade superior. A forma de transmissão de vapor é realizada por difusão do vapor de água através do aglomerado de cortiça.

A preparação deste ensaio consistiu na colocação de cloreto de cálcio a granel em cinco recipientes circulares de metal com as dimensões aproximadas dos provetes de aglomerado e com uma espessura, tal como na célula, de 80 mm. De seguida os provetes foram colados aos recipientes cuidadosamente com várias voltas de fita adesiva; posteriormente todo o conjunto foi pincelado a toda a volta com cera aquecida, de forma a impedir a saída de vapor de água pelas faces laterais. É de referir que a face que está mais próxima do cloreto de cálcio não é a que representa a face que fica exposta ao exterior na célula, representa a face em contacto com o ambiente com humidade relativa inferior.



Figura 74 Preparação dos provetes

O ensaio iniciou-se com a colocação dos cinco provetes numa câmara condicionada a $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e 50% de HR durante seis horas, embora tenham lá permanecido durante aproximadamente vinte horas. Nessa câmara a diferença de pressão é devida aos dois ambientes criados e mantidos entre as duas faces do provete: o cloreto de cálcio, sendo um exsicante, tem a capacidade de retirar a humidade do ar, de secar o ar adsorvendo a humidade que existe no recipiente circular, criando assim um fluxo de vapor de água. O ambiente que existe por cima do cloreto está seco e a humidade existente na câmara atravessa o aglomerado até chegar ao exsicante.

Os provetes são pesados diariamente. O ensaio termina quando for atingida uma estabilização de $\pm 5\%$ da massa, segundo a norma. Como é difícil chegar a esses valores, toma-se como limite um pequeno intervalo em que as massas pouco variam. É fundamental, ao remover os provetes da câmara para serem pesados, ter muito cuidado pois facilmente se desloca o cloreto de cálcio, o que pode interferir nos resultados.



Figura 75 Provetes na câmara condicionada (esq.) e balança para pesagem dos provetes (dir.)

É de salientar que, como a cortiça é um material natural, extremamente heterogéneo, com poros e vazios aleatórios, a forma como o vapor de água vai atravessar a cortiça não é de todo regular ao longo da face exposta. Tal pode justificar as diferenças de valores das taxas de variação de massa obtidas e a elevada espessura do provete (80 mm) fazer com que o vapor de água os atravesse mais lentamente (anexo II).

A título de experiência também se utilizaram dois provetes, tal como o existente na célula, em que um levou uma demão de primário e o outro uma demão de cola impermeável. Pretendeu-se observar a relação das massas e tirar conclusões sobre a transmissão de vapor de água.



Figura 76 Provete com cola impermeabilizante (esq.) e com primário (dir.)

A segunda fase deste ensaio consistiu na reutilização dos 5 provetes utilizados no início do ensaio, em que foi dada uma demão de primário e observada a estabilização das massas, tal como demonstra a figura 77.



Figura 77 Provete com aplicação de uma demão de primário (esq.) e colocados na câmara condicionada 23/50 (dir.)

Na terceira e última fase aplicou-se uma demão de cola impermeabilizante sobre o primário, continuando-se a observar a estabilização das massas, como é possível ver na figura 78.



Figura 78 Provete com cola impermeabilizante (esq.) e com primário (dir.)

Nos três quadros seguintes estão representadas as grandezas calculadas com este ensaio, resultantes da estabilização das massas dos cinco provetes.

O quadro 1 refere-se aos provetes de aglomerado sem qualquer acabamento, o quadro 2 ao aglomerado com o primário e o quadro 3 ao aglomerado com a aplicação sobre o primário da cola impermeabilizante, tal como está aplicado na célula experimental.

Quadro 1 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida

09/07 a 20/08		Espessura de ensaio (mm)	Massa volúmica aparente (kg/m^3)	Permeância ao vapor de água W ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)	Permeabilidade ao vapor de água δ ($\text{kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)	Factor de resistência à difusão do vapor de água μ
Amostra	Provete					
Aglomerado de cortiça expandida	1	80,4	175,06	$5,2 \times 10^{-11}$	$4,2 \times 10^{-12}$	45,4
	2	80,2	176,42	$6,9 \times 10^{-11}$	$5,5 \times 10^{-12}$	34,6
	3	80,6	184,39	$5,6 \times 10^{-11}$	$4,5 \times 10^{-12}$	42,4
	4	80,4	185,39	$5,5 \times 10^{-11}$	$4,4 \times 10^{-12}$	43,4
	5	80,6	196,55	$6,1 \times 10^{-11}$	$4,9 \times 10^{-12}$	38,6
	Média	80,4	-	$5,9 \times 10^{-11}$	$4,7 \times 10^{-12}$	40,9

Quadro 2 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida com primário e cola impermeabilizante

09/07 a 20/08		Espessura de ensaio (mm)	Massa volúmica aparente (kg/m ³)	Permeância ao vapor de água W (kg/m ² .s.Pa)	Permeabilidade ao vapor de água δ (kg/m.s.Pa)	Factor de resistência à difusão do vapor de água μ
Aglomerado de cortiça expandida	Provete					
	Primário	80,4	175,06	$8,0 \times 10^{-11}$	$6,4 \times 10^{-12}$	29,6
	Cola impermeabilizante	80,6	176,42	$3,8 \times 10^{-11}$	$3,0 \times 10^{-12}$	63,1

No quadro 1 constata-se que tanto os valores individuais de permeabilidade como de permeância e de resistência à difusão do vapor de água são muito semelhantes entre si, sendo baixa a dispersão de valores para cada parâmetro. Os valores da permeância e permeabilidade são naturalmente mais elevados quando comparados com os resultados do provete com cola impermeabilizante (quadro 2) pois esta confere uma camada impermeável à água que dificulta a difusão de vapor do exterior para o interior do provete, traduzida por valores mais baixos. Os poros da superfície do aglomerado em contacto com o exterior ficam fechados com esta cola, pelo que se processa mais lentamente a difusão de vapor, traduzida pelo aumento do factor de resistência à difusão.

Já o provete com primário teve um valor de permeabilidade anómalo pois este foi superior ao do aglomerado e da cola impermeabilizante, sendo mais permeável – o que não acontece. A única causa para este valor tem a ver com a dispersão de características, de placa para placa, da matéria-prima constituinte deste produto, nomeadamente diferenças na porosidade.

De seguida pode-se observar nos quadros 3 e 4 os resultados obtidos nos cinco provetes iniciais com o primário e cola impermeabilizante.

Quadro 3 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida com primário

21/08 a 02/10		Espessura de ensaio (mm)	Massa volúmica aparente (kg/m ³)	Permeância ao vapor de água W (kg/m ² .s.Pa)	Permeabilidade ao vapor de água δ (kg/m.s.Pa)	Factor de resistência à difusão do vapor de água μ
Amostra	Provete					
Aglomerado de cortiça expandida com primário	1	80,4	175,06	$5,3 \times 10^{-11}$	$4,3 \times 10^{-12}$	44,8
	2	80,2	176,42	$6,6 \times 10^{-11}$	$5,3 \times 10^{-12}$	36,0
	3	80,6	184,39	$5,1 \times 10^{-11}$	$4,1 \times 10^{-12}$	46,9
	4	80,4	185,39	$5,2 \times 10^{-11}$	$4,2 \times 10^{-12}$	46,3
	5	80,6	196,55	$5,5 \times 10^{-11}$	$4,4 \times 10^{-12}$	43,6
	Média	80,4	-	$5,5 \times 10^{-11}$	$4,5 \times 10^{-12}$	43,5

Curiosamente o provete 1 teve um aumento de permeabilidade, ainda que baixo ($0,1 \times 10^{-12}$ kg/m.s.Pa), que não era expectável. Todos os outros provetes tiveram diminuições nos valores da permeabilidade que, apesar de expectáveis, não se revelaram muito consideráveis, da ordem dos $0,3 \times 10^{-12}$ kg/m.s.Pa (equivalendo a uma diminuição de 6,4%). Concluiu-se assim que tal como era previsto, o primário diminui ligeiramente a permeabilidade ao vapor de água e confere uma camada que pouco ou quase nada tapa os poros, sendo por isso os factores de resistência à difusão do vapor muito semelhantes aos provetes iniciais só com aglomerado.

Quadro 4 Resultados do ensaio de permeabilidade do aglomerado de cortiça expandida com cola impermeabilizante

04/10 a 31/10		Espessura de ensaio (mm)	Massa volúmica aparente (kg/m^3)	Permeância ao vapor de água W ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)	Permeabilidade ao vapor de água δ ($\text{kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)	Factor de resistência à difusão do vapor de água μ
Amostra	Provete					
Aglomerado de cortiça expandida com cola impermeabilizante	1	80,4	175,06	$2,1 \times 10^{-11}$	$1,7 \times 10^{-12}$	114,1
	2	80,2	176,42	$2,1 \times 10^{-11}$	$1,7 \times 10^{-12}$	114,3
	3	80,6	184,39	$1,8 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-12}$	135,5
	4	80,4	185,39	$2,1 \times 10^{-11}$	$1,7 \times 10^{-12}$	114,1
	5	80,6	196,55	$1,8 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-12}$	135,5
	Média	80,4	-	$2,0 \times 10^{-11}$	$1,6 \times 10^{-12}$	122,7

Naturalmente e como é possível constatar neste último quadro, os valores da permeância e permeabilidade baixam para mais de metade dos valores do quadro anterior, com a aplicação do primário. Os valores de permeabilidade baixaram drasticamente, pelo que se pode concluir que a cola impermeabilizante tem uma permeabilidade extremamente baixa ao vapor de água e que tem valores de resistência à sua difusão de mais do dobro, tanto dos valores com primário como só com aglomerado.

De referir ainda que há um aumento considerável do factor de resistência (da ordem dos 44%) no provete da amostra inicial com cola impermeabilizante em relação aos provetes finais. Pode haver duas razões para esta situação: uma tem a ver com o facto da cola aplicada impermeabilizar efetivamente não só à água mas também ao vapor. A outra razão pode ser devido ao facto do primeiro provete não ter primário e estes últimos terem uma demão de primário, o que aumenta, mesmo que pouco, o factor de resistência e faz com que a permeância e permeabilidade sejam inferiores. Assim sendo, os provetes que têm mais uma camada, neste caso de primário, são menos permeáveis. É também importante ter em conta a porosidade de cada provete, que não é a mesma em cada provete dada a

heterogeneidade do aglomerado, sendo então este produto extremamente diferente e variando muito de placa para placa.

7.1.5 Ensaio da condutibilidade térmica

Este ensaio tem como objetivo a determinação da condutibilidade térmica aparente do aglomerado em função do teor de humidade. É realizado segundo a norma EN 12667 [21] e pretende-se obter o valor da condutibilidade térmica do aglomerado de cortiça expandida seco, e após estabilização em ambientes (23 °C) com 50% e 80% de humidade relativa; a ≈100% num ambiente saturado e após imersão em água. Assim, será possível conhecer os diferentes valores de condutibilidade térmica deste material em condições normalmente ocorrentes do meio exterior.

É também possível conhecer-se o valor da condutibilidade térmica com diferentes humidades relativas sem se realizar os ensaios, através de uma correção ao valor obtido de condutibilidade térmica seca e feita para as diferentes humidades, segundo o anexo D da norma EN13170:2012 [10, 22].

Inicialmente foram ensaiados três provetes de 500 mm x 500 mm x 80 mm, mantidos na câmara condicionada a 23°C e 50% de humidade relativa, até que a sua massa estabilize. Durante quatro dias foram efetuadas as respetivas pesagens e, de seguida, foram colocados na estufa a 105°C para ficarem totalmente secos e poder iniciar-se o ensaio.

Iniciou-se o ensaio com a colocação do primeiro provete no equipamento de condutibilidade térmica. Este, antes de entrar no equipamento, permaneceu um dia na estufa; quando retirado arrefeceu durante uma hora, completamente protegido com plástico para não absorver humidade enquanto arrefeceu.



Figura 79 Película de plástico a envolver os provetes

O equipamento é composto por uma prensa que se adapta à espessura do provete, e que a mede, através de uma pressão pré-definida de forma a ficar totalmente ajustado ao topo do provete e garantindo o contacto entre os pratos. Existem dois fluxímetros e o provete ficará em contacto com uma face fria e outra quente. Deve ser garantido o fluxo perpendicular e a sua passagem por toda a espessura. Na figura 80 mostra-se o referido equipamento.



Figura 80 Equipamento de condutibilidade térmica

Os provetes colocados no equipamento foram sujeitos a um ensaio de temperaturas médias de 10 °C e de 20 °C, podendo representar as temperaturas médias do elemento na envolvente no inverno e no verão respetivamente. O equipamento vai indicando os valores da condutibilidade térmica resultante da quantidade de calor que atravessa o provete.

Quando se verifica um desvio de 0,5% nos resultados da condutibilidade térmica, é forçada a paragem do equipamento. Os provetes são pesados antes de entrarem no equipamento e no final de cada ensaio.

Os valores da condutibilidade térmica calculam-se a partir da medição do fluxo de calor que atravessou o provete, da sua espessura e das temperaturas das faces fria e da quente. Obtém-se o teor de água existente no provete fazendo a diferença entre as massas inicial (seca) e a final de cada provete colocado no equipamento.

Quadro 5 Valores de condutibilidade térmica aparente a 10 °C e 20 °C

Provetes	$\lambda_{10 \text{ seco}} \text{ (W/m.K)}$	$\lambda_{20 \text{ seco}} \text{ (W/m.K)}$	udry (%)
3	0,04046	0,04191	0,0
7	0,04189	0,04172	0,0
8	0,04090	0,04142	0,1
Média	0.04108	0.04168	0,0

Com este ensaio é possível determinar a condutibilidade térmica do material, parâmetro imprescindível para um revestimento exterior com características térmicas, traduzindo a maior ou menor capacidade de conduzir o calor e a sua variação com diferentes teores de humidade relativa. Enquanto material isolante, os valores são logicamente baixos.

Segundo o quadro 5, os provetes 3 e 8 têm condutibilidades superiores à temperatura média de 20 °C, tal como esperado, pelo facto da condutibilidade térmica depender da temperatura que provoca o fluxo de calor, devido ao aumento de transferência de calor por convecção e radiação. De salientar que tal não aconteceu no provete 7, havendo uma incerteza na medição desse valor.

Após a primeira fase do ensaio, voltou-se a colocar os três provetes numa câmara condicionada, desta vez com HR de 80% e 23 °C. Permaneceram na câmara até estabilizarem. Procedeu-se de igual forma com a colocação da película, neste caso para que os provetes não perdessem humidade, e procedeu-se à introdução de cada provete no equipamento de condutibilidade térmica. Desta vez apenas se realizou o ensaio para uma temperatura média de 10 °C, tal como indicado no anexo D da norma.

Passados três dias, colocaram-se os provetes num tanque com 150 mm de altura de água que foi selado com película de plástico para se obter um ambiente saturado (HR≈100%). Mediram-se as massas até estabilizarem e realizou-se novamente o ensaio.



Figura 81 Tanque para criação de ambiente saturado

Por fim, procedeu-se à imersão dos provetes em água para se perceber o agravamento na sua condutibilidade térmica com teores de água elevados tal como pode existir na realidade. Os provetes estiveram imersos durante quatro dias, tempo para se garantir que o aglomerado absorveu uma quantidade significativa de água e que todos os poros abertos ficam preenchidos por água. Comparando com as condições reais, tal pode corresponder a fortes períodos de chuva sem que ocorram períodos de secagem posteriores.



Figura 82 Imersão dos provetes em água

Cada provete foi retirado do tanque e deixado a drenar durante dez minutos; de seguida, colocou-se a película de plástico em cada um para não perderem água e procedeu-se à sua introdução no equipamento de condutibilidade térmica (um de cada vez).



Figura 83 Forma de drenar a água e provetes revestidos de película de plástico

No quadro 6 apresentam-se os resultados obtidos em cada fase:

Quadro 6 Valores de condutibilidade térmica aparente (λ) e teor de água (u)

Massa volúmica aparente, ρ (kg/m ³)	Condutibilidade térmica aparente, λ_{10} (W/m.K) / Teor de água de equilíbrio, u (%m/m)									
	$\lambda_{10}(\text{seco})$	u_{seco}	$\lambda_{10}(23/50)$	$u_{23/50}$	$\lambda_{10}(23/80)$	$u_{23/80}$	$\lambda_{10}(23/100)$	$u_{23/100}$	$\lambda_{10}(\text{imerso})$	u_{imerso}
153,73	0,0405	0,0	0,0432	2,4	0,0431	3,9	0,0444	6,7	0,0564	40,3
150,83	0,0419	0,0	0,0426	2,0	0,0437	3,3	0,0449	4,8	0,0596	37,4
150,17	0,0409	0,1	0,0420	1,6	0,0423	3,7	0,0434	6,1	0,0563	38,6
Valores médios:										
151,58	0,0411	0,03	0,0426	2,0	0,0430	3,6	0,0442	5,9	0,0574	38,8

Os valores de condutibilidade térmica aparente dos isolantes térmicos devem ser corrigidos segundo a norma europeia EN 10456:2007 [22] devido à influência do teor de água no ensaio para as diferentes humidades relativas. Assim, os valores obtidos no ensaio devem ser afetados pelo chamado factor de correção de condutibilidade térmica λ em função do teor de água u , sendo assim possível perceber o agravamento que o λ pode ter com a humidade. No anexo III é demonstrado o cálculo.

Os valores de condutibilidade térmica corrigidos podem observar-se no quadro 7.

Quadro 7 Factores de correção e valores de condutibilidade térmica aparente corrigidos

	Tmédia								
	ρ (kg/m ³)	10,2 °C		10,0 °C		10,1 °C		10,1 °C	
		λ_{seco} (W/m.K)	u_{seco}	$\lambda_{23/50}$ (W/m.K)	$u_{23/50}$	$\lambda_{23/80}$ (W/m.K)	$u_{23/80}$	$\lambda_{23/100}$ (W/m.K)	$u_{23/100}$
Valor médio	151,6	0,0411	0,03	0,0426	2,0	0,0430	3,6	0,0442	5,9
Factor de correção				0,0182			0,0062		
$\lambda_{\text{corrigido}}$				0,0442			0,04347		

Com a figura 84 pretende-se analisar como é que a presença da humidade altera a condutibilidade térmica aparente do aglomerado de cortiça expandida.

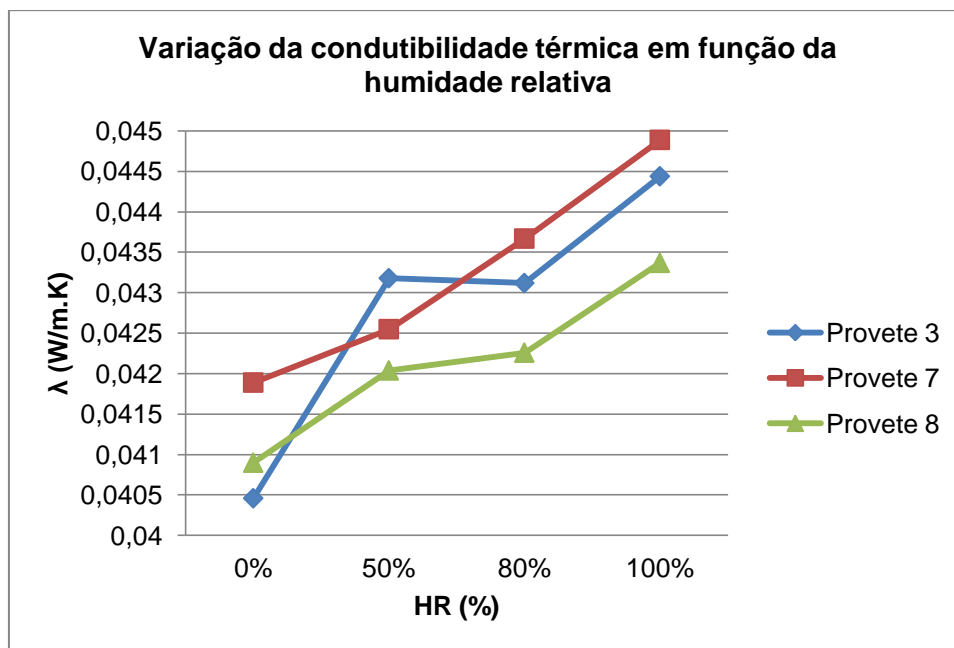


Figura 84 Variação da condutibilidade térmica em função da humidade relativa

A humidade relativa traduzida por vapor de água e/ou água no estado líquido condiciona o comportamento dos isolantes térmicos e assim sendo quanto maior o seu valor, maior é o valor de condutibilidade térmica, como perceptível através do gráfico. Os poros do aglomerado inicialmente ocupados por ar, são agora substituídos parcial ou totalmente por vapor de água e/ou água no estado líquido e estes últimos são melhores condutores térmicos do que o ar e reduzem o nível de isolamento térmico do aglomerado. A água tem um valor de condutibilidade 23 vezes superior à do ar, justificando-se esse aumento observado no gráfico [23].

No provete 3 o maior aumento do valor de condutibilidade dá-se na variação de um ambiente seco para um com uma humidade relativa de 50%, o que não se verifica para os outros provetes, sendo o provete 7 o que tem um menor aumento de condutibilidade neste intervalo. Assim a variação do valor de condutibilidade térmica dos provetes secos até atingirem um ambiente saturado é de aproximadamente 10% para o provete 3, 7% para o provete 7 e 6% para o provete 8.

É de referir que, tal como mostra o gráfico 85, a variação de condutibilidade não é constante, a transferência de calor não é realizada de forma constante, embora os valores obtidos sejam relativamente próximos. A heterogeneidade do material e o facto de haver placas com maior percentagem de madeira faz com que os valores de condutibilidade sejam então relativamente próximos para os diferentes teores de humidade, com exceção de existir um aumento considerável, tal como expectável, após quatro dias de imersão.

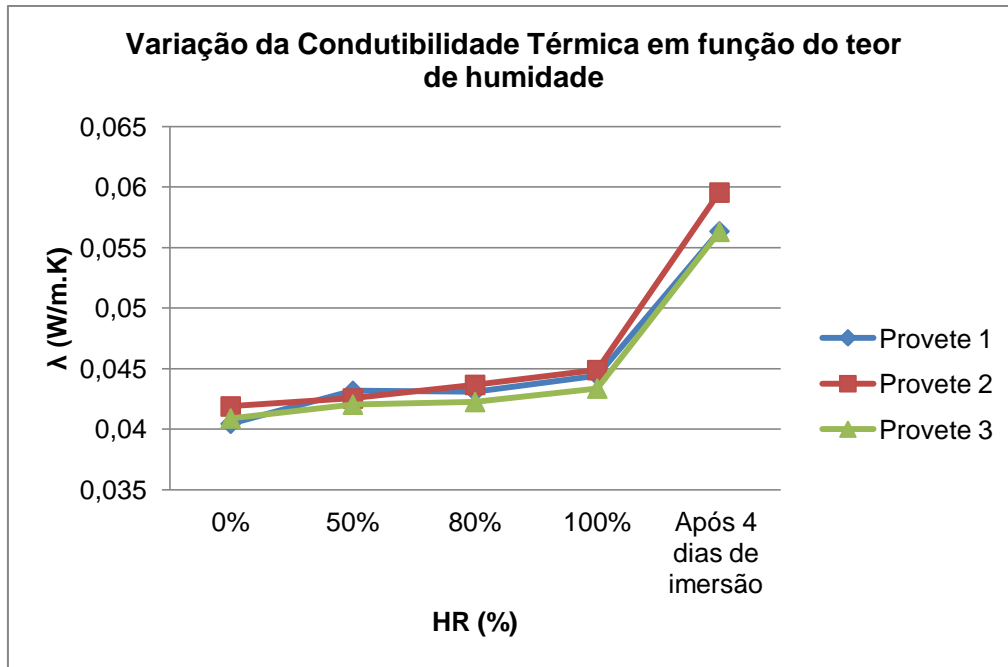


Figura 85 Gráfico da variação da condutibilidade térmica em função da humidade relativa

A humidade desloca-se devido à existência de uma diferença de pressão causada pela diferença de concentração de vapor de água e/ou diferença de temperatura ao longo do material [23] e assim sendo o teor de água existente no material vai aumentando com o aumento da humidade relativa. O gráfico da figura 86 mostra os teores de água em equilíbrio em ambientes com diferentes humidades relativas a uma determinada temperatura.

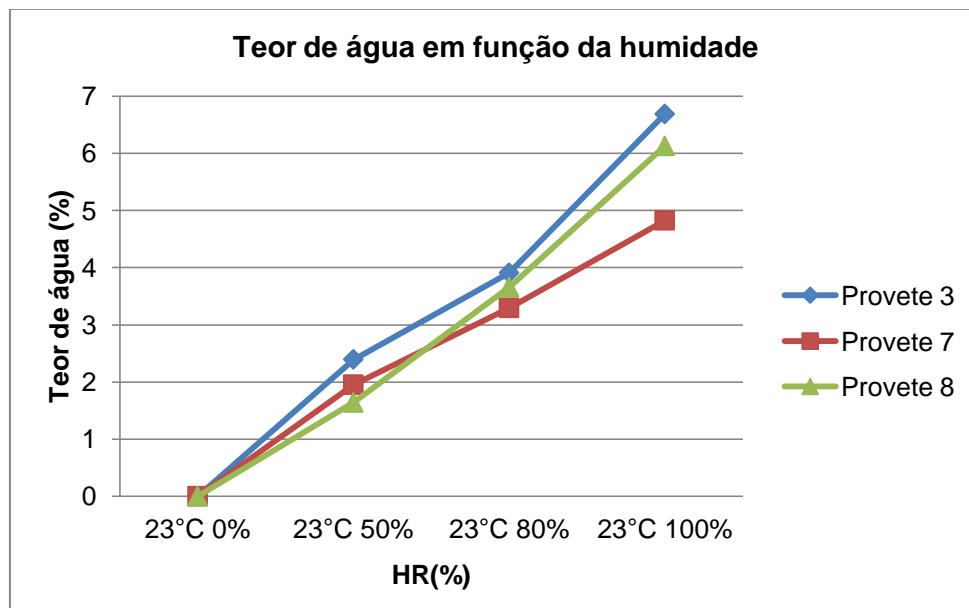


Figura 86 Gráfico do teor de água em função da humidade relativa

Pelo gráfico observa-se que a maior diferença de valores de teores de água ocorre para o provete 3 na passagem dos 80% para os 100% de HR tal como o provete 8, já para o provete 7 a maior diferença ocorre na passagem de ambiente seco para 50% de HR.

No gráfico da figura 87 é notável a diferença que ocorre de teor de água após imersão de quatro dias, tal como seria de esperar.

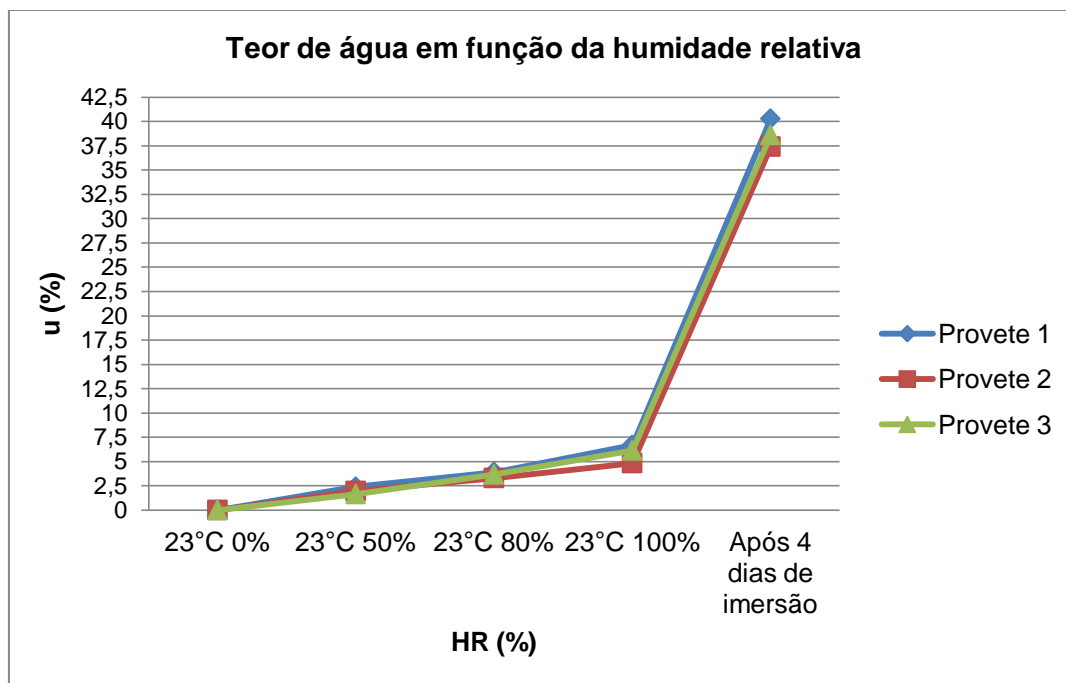


Figura 87 Gráfico do teor de água em função da humidade relativa

Na figura 88 é possível concluir que a evolução da condutibilidade térmica faz-se lentamente com o aumento do teor de água (u). Após imersão em água, obtém-se um teor de água mais do que o triplo do teor em água de equilíbrio num ambiente saturado (HR≈100%), de que resulta um acréscimo muito significativo do valor da condutibilidade térmica (figura 88).

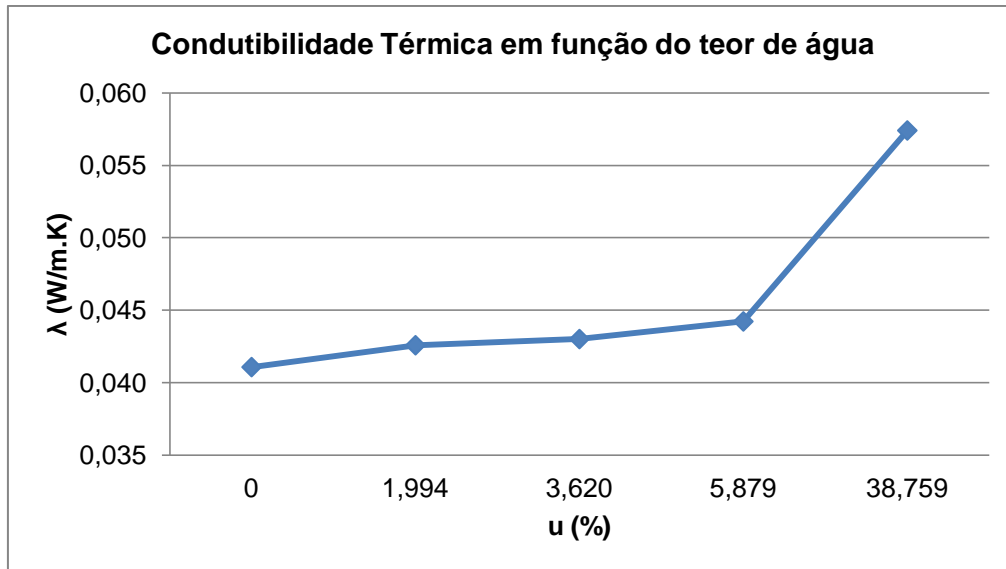


Figura 88 Gráfico da condutibilidade térmica em função do teor de água

Segundo a norma EN 13170 não devem ser colocados no mercado placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) que tenham um teor de água superior a 8%. De referir que mesmo em ambiente saturado, os valores de u não atingiram valores dessa ordem (figura 87).

De salientar a diferença de valores que ocorre para os provetes previamente imersos em água, para os quais a condutibilidade térmica é fortemente agravada com o aumento do teor em água adquirido na imersão (figura 87).

Assim sendo, quando é aplicado o aglomerado como revestimento exterior, em períodos de chuva intensa e duradoura (provavelmente não tão gravoso como a imersão dos provetes durante quatro dias seguidos como realizado), é de esperar um agravamento inferior aos 39% registados após quatro dias de imersão. Será previsível que o valor do u se situe entre 7% e 39% no aglomerado, pois quando aplicado como revestimento térmico há que ter em conta o aumento acentuado anteriormente referido (figura 88).

7.1.6 Ensaio de durabilidade

Este ensaio é realizado segundo orientação da EN 14509:2006 – anexo B [24] utilizado para painéis sandwich e do ETAG 016 [25, 26]. É objetivo do ensaio sujeitar os provetes a vários ciclos de envelhecimento acelerado e, em cada um deles, retirá-los do equipamento que é utilizado e submetê-los a um ensaio de tração perpendicular às faces até atingir a rotura, segundo a EN 1607 [27]. A justificação para a realização do ensaio tem a ver com o interesse em conhecer-se como é que se altera a resistência mecânica do aglomerado ao longo do tempo definido e das condições definidas para o ensaio.

O teste que se optou por realizar foi o DUR2 que consiste em manter-se dentro de um equipamento (tanque) com temperatura e humidade relativa constantes, respetivamente de 65 °C e 100%, 15 provetes colocados a níveis diferentes e que serão retirados (em grupos de 5) ao fim de 7, 28 dias e, caso os critérios de avaliação adiante referidos não forem verificados, 56 dias.

O equipamento é um tanque com vários níveis, com água no interior e com temperaturas e humidades relativas reguláveis.



Figura 89 Tanque e colocação dos provetes

Para este ensaio foram utilizadas duas placas de fibrocimento como suporte de colagem nas quais se colaram placas de aglomerado de cortiça com 80 mm. Utilizou-se numa cola prego e noutra cola impermeabilizante com o objetivo de se perceber se a durabilidade, definida pelas condições atrás descritas, é condicionada pelo aglomerado ou pela cola. Procedeu-se ao corte de cada placa, obtendo-se 21 provetes com dimensões faciais da ordem de 100 mm x 100 mm e que foram deixados a estabilizar numa câmara condicionada com temperatura 23 °C e 50% de humidade relativa. Dos 21 provetes, 15 são colocados no tanque e 6 ficam como amostra inicial numa sala com o mesmo ambiente.

Decorridos 7 dias, foram retirados do tanque cinco provetes e após período de estabilização efetuaram-se medições diárias da determinação das suas massas. Colaram-se na face superior e inferior de cada provete chapas metálicas com igual dimensão que permitiram a ligação à máquina de ensaios mecânicos.



Figura 90 Provetes a ensaiar e máquina de tração

Passados dois dias realizou-se o ensaio de tração com a amostra inicial e com os cinco provetes.

O processo foi repetido com cinco provetes retirados ao fim de 28 dias. Os critérios de ensaio para se proceder à permanência dos provetes no tanque durante 56 dias, referentes aos valores de tensão de rotura são:

- $f_{mt7} - f_{mt28} \leq 3 (f_{mt0} - f_{mt7})$
- $f_{mt28} < 40\% f_{mt0}$

onde f_{mt0} , f_{mt7} e f_{mt28} designam a tensão de rotura inicial, ao fim de 7 dias e de 28 dias respetivamente.

Tal como se esperava, nos provetes verificaram-se dois tipos de rotura: pelo aglomerado e pela zona de ligação da cola entre o aglomerado e a placa de fibrocimento. De referir que não houve quebra dos grânulos de cortiça mas sim descolamento destes. Por ser a suberina que os liga, pode-se constatar que existe efetivamente uma degradação da mesma nos provetes “envelhecidos” em 7 dias. Nos provetes da amostra inicial houve também o descolamento dos grânulos, não tendo sido degradada a suberina. Era possível ocorrer a rotura pela zona de ligação da cola do provete à chapa caso a qualidade da cola fosse inferior.

Verificou-se que tanto os provetes do tanque com 7 dias como os da amostra inicial, atingiram a rotura pelo aglomerado com exceção do provete 3. A rotura, neste caso, ocorreu pela zona de ligação da cola do aglomerado à chapa metálica por esta não estar bem aplicada, tal como sugerem as figuras seguintes:



Figura 91 Rotura de três provetes



Figura 92 Forma de rotura

No quadro 8 apresentam-se os valores da tensão de rotura, dos provetes, obtidos neste ensaio:

Quadro 8 Resultados do Ensaio de Tração

Ensaio de Tração		Espessura de ensaio (mm)	Tensão de tração na rotura σ_{mt} (kPa)	Deformação na rotura (mm)
Amostra	Provete			
Inicial	A15	91,2	53,62	3,04
	A16	91,0	49,55	3,25
	A17	91,4	45,74	2,77
	A18	91,0	52,43	2,91
	A19	90,8	56,41	2,86
	A20	91,0	54,99	2,87
Média		---	52,12	---
Ao fim de 7 dias	A1	91,0	43,47	2,26
	A2	91,0	50,99	2,57
	A3	91,4	40,84	3,33
	A4	90,6	51,38	3,00
	A5	91,6	21,98	3,17
Média		---	41,73	---

Ao fim de 28 dias	A6	91,0	52,11	2,20
	A7	91,0	60,50	2,66
	A8	91,4	48,02	3,44
	A9	90,6	60,06	2,39
	A10	91,6	58,44	2,62
Média		---	55,83	---
Ao fim de 56 dias	A11	91,0	29,56	1,55
	A12	90,4	28,76	1,72
	A14	90,8	27,56	1,31
	A21	90,8	23,35	1,18
	B3	91,2	24,46	1,31
Média		---	26,74	---

Nos valores obtidos comprova-se que ao fim de sete dias, num ambiente a 65 °C e 100%, não há nenhum provete com uma tensão de rotura em valor absoluto superior aos provetes iniciais que não entraram no tanque, tal como era esperado. No entanto, tanto o provete A2 como o A4 têm tensões de rotura da mesma ordem da dos provetes iniciais, sendo superiores, por exemplo às dos provetes A16 e A17. Faz sentido os valores iniciais serem superiores pois não foram sujeitos àquelas condições de envelhecimento e mantiveram-se em ambiente condicionado de 23 °C e 50% de humidade relativa.

Ao fim de 28 dias, contrariamente ao esperado, constatou-se um aumento de cerca de 20% da tensão de rotura podendo levar a concluir que poderia existir um possível aumento de resistência do material. No entanto, por esta hipótese não ter uma justificação plausível, aquele acréscimo deve ser atribuído à dispersão de propriedades e heterogeneidade que caracteriza este produto. Embora a rotura continue a ocorrer pelo aglomerado, o que está em causa neste ensaio é a aderência da cola da placa de fibrocimento ao material que, apesar de sofrer um envelhecimento considerável, continua a cumprir os requisitos de colagem.

Os critérios definidos na norma não foram verificados, pelo que se procedeu à continuação do ensaio até aos 56 dias. Também são estipulados dois critérios para a tensão de rotura a cumprir após os 56 dias:

- $f_{mt28} - f_{mt56} \leq f_{mt7} - f_{mt28}$
- $f_{mt56} < 40\% f_{mt0}$

onde f_{mt7} , f_{mt28} e f_{mt56} designam a tensão de rotura ao fim de 7 dias, ao fim de 28 dias e ao fim de 56 dias respetivamente.

Os critérios também não foram verificados. Há uma redução de quase metade da tensão de rotura média aos 56 dias em comparação com a tensão aos 28 dias. É a transição mais brusca de intervalo, pelo que pode afirmar-se que há uma degradação do material com a consequente diminuição de resistência à tração. É possível também referir que após 56 dias de envelhecimento naquelas condições, o aglomerado de cortiça, comparando com os provetes que não entraram no tanque, tem uma diminuição de tensão de rotura média, manifestada pelo *envelhecimento* do material, de aproximadamente 50%.

A norma EN 13170 define níveis para a tensão de rotura à tração perpendicular às faces do aglomerado de cortiça expandida, iguais ou superiores a 40 kPa, 50 kPa ou 60 kPa (média de valores dos resultados do ensaio). Aquela norma está definida para o ICB normal (de massa volúmica entre 105 a 125 kg/m³) e para provetes que não foram envelhecidos, devendo assim avaliar-se a tensão de rotura para a amostra inicial. Assim sendo, a amostra inicial foi da ordem dos 50 kPa, integrando-se nos níveis definidos na norma.

7.1.7 Ensaio de envelhecimento

Este ensaio foi realizado com duas lajetas de betão com dimensões de 600 mm x 600 mm x 20 mm às quais foram coladas placas de aglomerado que pretendem simular a colagem do aglomerado a paredes de betão. As colas são as mesmas que as aplicadas na célula: cola prego aplicada por cordões e cola impermeabilizante aplicada em toda a superfície da lajeta. A lajeta que tem a cola prego tem duas juntas com objetivo de simular o que está aplicado na célula experimental, embora o suporte do provete de ensaio seja de betão e *in situ* seja parede de alvenaria rebocada com argamassa de cimento.



Figura 93 Lajetas do ensaio de envelhecimento

Este ensaio foi realizado em várias fases e está de acordo com o especificado no ETAG 031 [28]. A sequência deste ensaio consistiu numa primeira fase de choque térmico, uma segunda de imersão em água e por fim uma fase de gelo-degelo. A analogia deste ensaio com as condições reais tem a ver com as ações climáticas a que qualquer revestimento

exterior está sujeito: forte incidência da luz solar, podendo no dia seguinte ou até no mesmo dia, estar sujeito a chuva e depois secagem. Também a existência de água nos provetes e ciclos de gelo-degelo que ocorrem em locais com temperaturas abaixo de 0 °C e em dias normais quando, pela madrugada, com as baixas temperaturas pode ocorrer geada e o normal aumento de temperatura matinal. Em causa está, após cada fase do ensaio, a aderência do aglomerado à lajeta e a coesão do material caso a rotura ocorra por este.

A cada lajeta colaram-se dois termopares. Um termopar controla o sistema de aquecimento das lâmpadas de infravermelho e o outro regista as temperaturas superficiais.

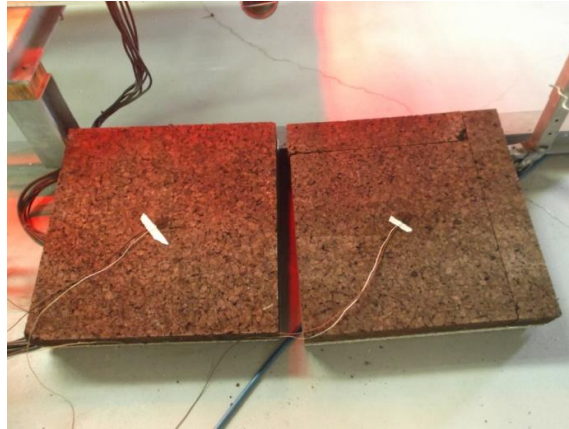


Figura 94 Provetes com termopares

O ensaio traduz as condições a que está sujeito, em condições reais, um revestimento exterior, começando por sujeitar os dois provetes a 80 ciclos de aquecimento, aspersão de água e drenagem. O aquecimento é obtido por múltiplas lâmpadas de infravermelhos de 100 W (de forma a tentar que a temperatura seja o mais uniforme possível) durante três horas para atingirem os 70 °C; a aspersão de água programada para uma hora e a drenagem durante quatro horas.

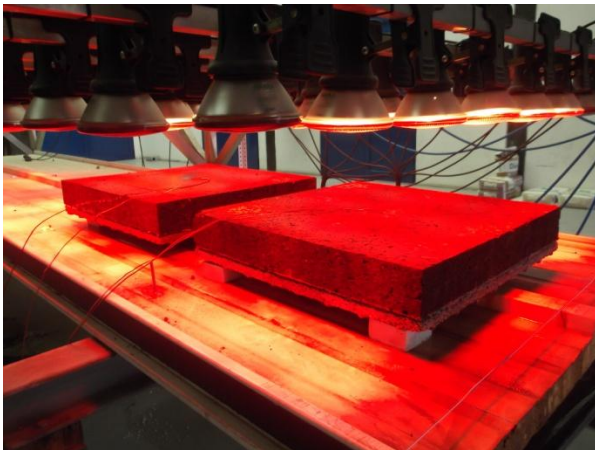


Figura 95 Provetes com ciclo de aquecimento e com ciclo de aspersão de água

Procedeu-se à pesagem das lajetas, tendo o maior cuidado com os termopares e não as danificando, ao vigésimo, quadragésimo, sexagésimo e octogésimo ciclos, com o objetivo de

concluir sobre a absorção de água que poderá existir através da determinação do aumento da massa das lajetas.

A segunda fase do ensaio consistiu na imersão das lajetas num tanque com água durante um mês (tapado para não ocorrer evaporação da água), garantindo uma altura de 5 cm de água por cima destas.



Figura 96 Provetes imersos

Quando se retiraram as lajetas do tanque, estas foram deixadas a drenar durante 10 minutos, pesadas de seguida e registadas as suas massas para medição da absorção por unidade de área.

A terceira fase do ensaio consistiu na colocação das lajetas num tanque e, de seguida, numa câmara condicionada e sujeitas a 30 ciclos de gelo-degelo durante um mês. As lajetas tiveram que ser cortadas 100 mm pois o tanque apenas tem capacidade para receber provetes com 500 mm x 500 mm. Para o ensaio do gelo-degelo, o tanque é cheio com água de forma a ter as duas lajetas imersas, colocadas uma por cima da outra com separadores de plástico acrílico. Cada ciclo consiste na imersão total das lajetas durante 8 h a $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e congelamento durante 14 h a $(-20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ cuja descida de temperatura demora 2 h.



Figura 97 Tanque de gelo-degelo e câmara de ensaio

As lajetas foram retiradas ao fim de 30 dias, determinou-se a sua massa e, através da observação visual, verificou-se se apresentavam danos físicos.

À primeira vista as lajetas não apresentavam sinais de degradação, estavam molhadas e com uma pequena porção de gelo na superfície, como mostra a figura 98.



Figura 98 Provetes retirados da câmara de ensaio

Os resultados são apresentados nos quadros 9, 10 e 11 de acordo com o ganho de massa e no quadro 12 o ganho de massa por unidade de área que as lajetas vão tendo ao longo das diferentes fases realizadas.

Quadro 9 Ciclos do choque térmico

Choque Térmico					
Lajetas / Dias	1ºdia 17/07	21 ciclos 25/07	39 ciclos 31/07	60 ciclos 07/08	80 ciclos
Massa A* (kg)	22,042	23,566	23,676	23,880	24,058
Massa B** (kg)	23,368	25,782	26,140	26,596	27,056
Varição Massa A (kg)		1,524	1,634	1,838	2,016
Varição Massa B (kg)		2,414	2,772	3,228	3,688

* lajeta colada com a cola prego

** lajeta colada com a cola impermeabilizante

A lajeta colada com cola impermeabilizante ganhou mais massa do que a lajeta com cola prego. A cola impermeabilizante confere uma camada impermeável ao vapor de água mas será que também “dificulta” o caminho da água?

A lajeta com cola impermeabilizante tem duas juntas que não existem na lajeta com cola prego e a água provavelmente infiltrou-se mais facilmente no aglomerado da primeira. Neste caso como a lajeta não está em contacto com água, só recebe a água que eventualmente possa atravessar o aglomerado, pode-se concluir que a maioria do ganho de massa do provete depende do aglomerado.

Quadro 10 Variação de massas na fase de imersão

Imersão		
Lajetas imersas em água	1 mês e 9 dias	
	Massa inicial	Massa final
Massa A* (kg)	24,058	26,962
Massa B** (kg)	27,056	28,666
Varição Massa A (kg)	2,904	
Varição Massa B (kg)	1,610	

* lajeta colada com a cola prego

** lajeta colada com a cola impermeabilizante

É interessante verificar que nesta fase de ensaio, num total de 40 dias com as lajetas imersas em água, houve apenas um aumento de massa de 2,9 kg e 1,6 kg.

Constata-se que a lajeta colada com cola impermeabilizante absorve agora menos água do que a colada com cola prego. Os cordões aplicados deixam uma maior área de possível absorção, podendo a água ser absorvida na interface da lajeta e aglomerado. A cola impermeabilizante, aplicada em superfície, serve de barreira entre a lajeta e o aglomerado, apenas sendo absorvida por cima e lateralmente água, não havendo absorção na zona da interface.

Curioso é também de verificar que há uma possível estabilização da água no interior do aglomerado. Em apenas quatro dias de imersão para o ensaio da condutibilidade térmica, o provete de aglomerado com 500 mm x 500 mm x 80 mm absorveu 1 kg de água.

Após esta fase de imersão, o provete é colocado no tanque para a fase de gelo-degelo e tal como perceptível no quadro 11, o ganho de massa não chega a 300 g (estimando-se que possa equivaler a cerca de 8% a 10% de absorção por parte do aglomerado de cortiça expandida).

Quadro 11 Variação de massas no gelo-degelo

Gelo-degelo		
Lajetas gelo-degelo	30dias	
	Massa inicial	Massa final
Massa A* (kg)	18,698	18,990
Massa B** (kg)	19,726	19,962
Variação Massa A (kg)	0,292	
Variação Massa B (kg)	0,236	

* lajeta colada com a cola prego

**lajeta colada com a cola impermeabilizante

Se as lajetas viessem diretamente do choque térmico para o gelo-degelo, era expectável que o ganho de massa fosse superior ao que decorre da passagem da imersão para o gelo-degelo.

Os poros já contêm no seu interior água e estando 40 dias dentro de água pouca diferença seria de notar no ganho de massa de ambos os provetes.

Quadro 12 Resultados do ensaio de envelhecimento

Lajetas	Variação de massas no Choque térmico (g)	Área das lajetas (m ²)	Absorção de água por unidade de área (kg/m ²)	Variação de massas na Imersão (g)	Área das lajetas (m ²)	Absorção de água por unidade de área (kg/m ²)	Variação de massas no gelo-degelo (g)	Área das lajetas (m ²)	Absorção de água por unidade de área (kg/m ²)
A	2,016	0,36	5,6	2,904	0,36	8,1	0,292	0,25	1,2
B	3,688	0,36	10,2	1,610	0,36	4,5	0,236	0,25	0,9

* lajeta colada com a cola prego

** lajeta colada com a cola impermeabilizante

Como observações e conclusões dos resultados do ensaio de envelhecimento, é de referir que o ganho de massa por unidade de área depende tanto da absorção de água que a lajeta de betão tem como do aglomerado de cortiça expandida. Existe uma diferença considerável, praticamente o dobro do ganho de massa por unidade de área, no choque térmico.

Houve uma redução significativa para menos de metade da lajeta com cola impermeabilizante imersa e houve aumento pouco significativo nesta no gelo-degelo.

Após a retirada das lajetas do ensaio de gelo-degelo, procedeu-se ao corte das mesmas. Para a lajeta com cola prego, facilmente se descolou a placa de aglomerado da lajeta de betão e procedeu-se ao corte de seis provetes de 100 mm x 100 mm x 80 mm (excluindo a lajeta de betão) para serem sujeitos ao ensaio de tração. Também os restos de provetes

que não entraram no ensaio de gelo-degelo e que tinham resultado do corte das lajetas, foram cortados em provetes de 100 mm x 100 mm, com objetivo de verificar a influência e a forma como o aglomerado é afetado pelo gelo-degelo. Todos estes provetes foram colocados na estufa para estabilizarem rapidamente a sua massa, durante um dia e foram dimensionados posteriormente.

Colam-se as chapas metálicas nos provetes e realiza-se o ensaio de tração perpendicular, segundo a EN 1607 [27], aos provetes cortados da lajeta colada com cola prego e que sofreram a imersão em água e o gelo-degelo. No quadro 13 estão os resultados do ensaio de tração realizado.

Quadro 13 Resultados do ensaio de tração perpendicular nos provetes envelhecidos

Ensaio de Tração		Espessura de ensaio (mm)	Tensão de tração na rotura σ_{mt} (kPa)	Deformação na rotura (mm)
Amostra	Provete			
Inicial	A15	91,2	53,62	3,04
	A16	91,0	49,55	3,25
	A17	91,4	45,74	2,77
	A18	91,0	52,43	2,91
	A19	90,8	56,41	2,86
	A20	91,0	54,99	2,87
Média		---	52,12	---
Imersão em água	1	80,6	76,39	2,63
	2	80,2	81,29	2,29
	3	80,6	77,07	2,58
	4	80,2	78,59	2,79
	5	80,6	88,75	2,45
Média		---	80,42	---
Gelo-degelo	1	80,8	53,20	3,34
	2	80,6	60,95	3,31
	3	80,2	46,13	2,96
	4	80,2	50,76	3,31
	5	80,6	42,20	3,28
Média		---	50,65	---

Os provetes da amostra inicial foram os utilizados como amostra inicial no ensaio de durabilidade. O aglomerado foi colado com a cola impermeabilizante a uma placa de fibrocimento.

Concluiu-se nesse ensaio que, como não ocorria a rotura na ligação entre o aglomerado, a placa não interferia na rotura que sempre acontecia pelo aglomerado.

Assim sendo, ao comparar a amostra inicial com a amostra imersa durante 40 dias, constatou-se um facto pouco expectável - o aumento da tensão de rotura de 54%. Todos os provetes têm as dimensões normalizadas para este ensaio e, contrariamente ao esperado, o aglomerado apresenta valores elevados de resistência mecânica após imersão em água. Tal como sucedeu no ensaio de durabilidade (DUR2), existe uma dispersão nos resultados do ensaio de tração perpendicular [7] devido à qualidade e à heterogeneidade da matéria-prima do aglomerado.

Já a amostra do gelo-degelo, como expectável, tem valores menores, apesar de alguns valores serem elevados, como é o caso do provete 2. Há uma diminuição da média dos provetes da amostra inicial para os de gelo-degelo de 1,5 kPa, valor baixo face ao tipo de ensaio a que foram sujeitos.

A título comparativo utilizou-se um método diferente para o corte de cinco provetes da lajeta com a cola impermeabilizante. Este foi realizado com uma caroteadora com um diâmetro de 50 mm atingindo o limite da lajeta de betão, de seguida colaram-se as pastilhas para o ensaio de arrancamento como se pode observar na figura 99. Como era difícil proceder a este corte devido à cola impermeabilizante aplicada em toda a superfície desta lajeta, optou-se por realizá-lo desta forma, utilizada também para retirar carotes de ETICS.



Figura 99 Corte com caroteadora (esq.) Colagem das pastilhas (centro) Pastilhas coladas (dir.)

O ensaio foi concretizado três dias depois com um dinamómetro a fazer o arrancamento, calculando-se a força e tensão necessários como demonstra o quadro 14.

Quadro 14 Resultados do ensaio de tração perpendicular nos provetes resultantes da lajeta com cola impermeabilizante

Dinamómetro (kg)	Força (N)	Área do provete (mm ²)	Tensão de tração na rotura σ_{mt} (kPa)
7,05	70,5	1962,5	35,92
4,45	44,5		22,68
3,25	32,5		16,56
9,4	94,0		47,90
8,75	87,5		44,59
Valor médio:			33,53

De referir que quando se arrancaram os provetes, ainda estavam molhados em aproximadamente metade do aglomerado. Os provetes voltaram a sofrer a rotura pelo aglomerado, continuando a colagem das pastilhas a não ser afetada, tal como mostram as imagens, e nunca tendo atingido a rotura perto da lajeta.



Figura 100 Rotura pelo aglomerado

Pelo quadro 14 e dado que a força exercida para arrancar estes provetes é muito menor pois a área é consideravelmente menor, (podendo ser comparada com os valores da força anteriormente obtidos no ensaio de tração dos provetes iniciais e que se encontram no anexo V) observa-se que a média dos valores de tensão de rotura diminui 17,1 kPa (cerca de 34%) em relação aos valores obtidos no gelo-degelo da lajeta com cola prego.

Estes provetes de menores dimensões eram os que estavam colados à lajeta com cola impermeabilizante, pelo que continuou garantida a colagem do aglomerado.

Pelo quadro 13 é possível observar que há uma ligeira dispersão entre os valores de tensão obtidos na fase de gelo-degelo (cerca de 8%). Pelo quadro 14 a dispersão é mais elevada (cerca de 14%), podendo resultar do facto do ensaio ser realizado manualmente e o anterior ser realizado de forma mais rigorosa (com a máquina de tração).

Também este ensaio revelou que os resultados têm uma elevada dispersão e que independentemente da forma como é realizada a tração, o aglomerado é um material extremamente heterogéneo e varia bastante nos provetes da mesma placa. No entanto, é

de salientar que após ciclos tão agressivos e de longa duração, o aglomerado não ficou desfeito como certos materiais, como acontece por exemplo com a lâ de rocha, e os valores de tensão são aceitáveis comparativamente com o que está estabelecido na EN 13170.

7.1.8 Nevoeiro salino

Existem inúmeras normas para este ensaio e que poderiam ter sido escolhidas para a sua realização. Optou-se por definir que o ensaio deveria ser cíclico, com períodos de nevoeiro salino seguidos de secagem e, para tal, seguiu-se o procedimento estabelecido na NP EN 14147:2007 [29]. Foram feitas algumas adaptações nomeadamente o número de ciclos e a duração de cada parte.

A NP EN 14147:2007 indica métodos de ensaio para pedra natural, mais especificamente a determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. Escolheu-se esta norma e não outras, tais como a de revestimentos metálicos, orgânicos, tintas ou vernizes, pela forma como é definido cada ciclo e o tipo de ciclos que podem ser definidos.

Para este ensaio são colocados seis provetes de aglomerado de cortiça expandida, com dimensões de 10 cm x 25 cm x 8 cm, no interior de uma câmara de nevoeiro salino e sujeitos a dez ciclos de 48 h de nevoeiro salino/secagem. A duração do nevoeiro salino é de 10 h e a de secagem 38 h. Na figura 101 pode ver-se a câmara de nevoeiro e a colocação dos provetes no seu interior.



Figura 101 Equipamento de nevoeiro salino e provetes

O nevoeiro salino é caracterizado por uma nebulização de solução salina de cloreto de sódio com água destilada e é espalhado, por aspensão, pela câmara.

A concentração da solução não foi a definida pela norma (100 g/l) por não se considerar equivalente ao que existe de concentração na atmosfera e no nevoeiro salino em condições

reais (cerca de 33 g/l) e por essa concentração poder provocar uma degradação demasiado acelerada nos provetes. Estabeleceu-se então um valor intermédio de 50 g/l.

Ao chegar perto do final da secagem, os provetes foram pesados e foi registada a sua massa.

Em condições reais os materiais degradam-se com os sais solúveis e com os sais atmosféricos e também devido à cristalização no seu interior [30].

O nevoeiro salino ocorre em ambiente marítimo por, nas proximidades, haver uma grande quantidade de sais transportados pelo vento e quando, perante humidade, se podem dissolver. O seu efeito é mais sentido no litoral e em locais próximos do mar, diminuindo rapidamente em locais mais distantes do mar [31].

Os problemas com o nevoeiro salino surgem quando, devido à absorção dos sais pelos materiais de construção e quando o ar seca, ocorre a cristalização nos microporos, provocando a sua expansão e conseqüente fissuração ou mesmo quebra do material.

Logo no primeiro ciclo, aquando da pesagem dos seis provetes colocados na câmara, observou-se uma ligeira deposição de sal muito superficial e ocupando alguns orifícios do aglomerado nas faces laterais, superior e inferior. Esta deposição sugere que poderá também vir a ocorrer nas esquinas das fachadas. Nas seguintes imagens é visível essa deposição:



Figura 102 1º ciclo de nevoeiro salino

No quinto ciclo, para além da deposição atrás referida, observou-se a mesma no tardo do provete como demonstra a figura 103:



Figura 103 5º ciclo de nevoeiro salino

É curioso ocorrer esta deposição pois o tubo por onde sai o nevoeiro está a uma altura superior à dos provetes (figura 104). É garantido assim que o nevoeiro abrange todas as

zonas do compartimento e ao querer subir “encontra” os provetes e deposita-se no tardo de destes.



Figura 104 Tubo que permite a saída do neveiro

Ao longo dos vários ciclos foram pesadas as massas. Realizaram-se mais três ciclos porque o equipamento aquando da pesagem do 10º ciclo estava a funcionar, por ter havido um atraso do relógio e o equipamento continuou a funcionar em vez de parar na fase de secagem.

O gráfico da figura 105 demonstra a variação da massa ao longo dos 13 ciclos.

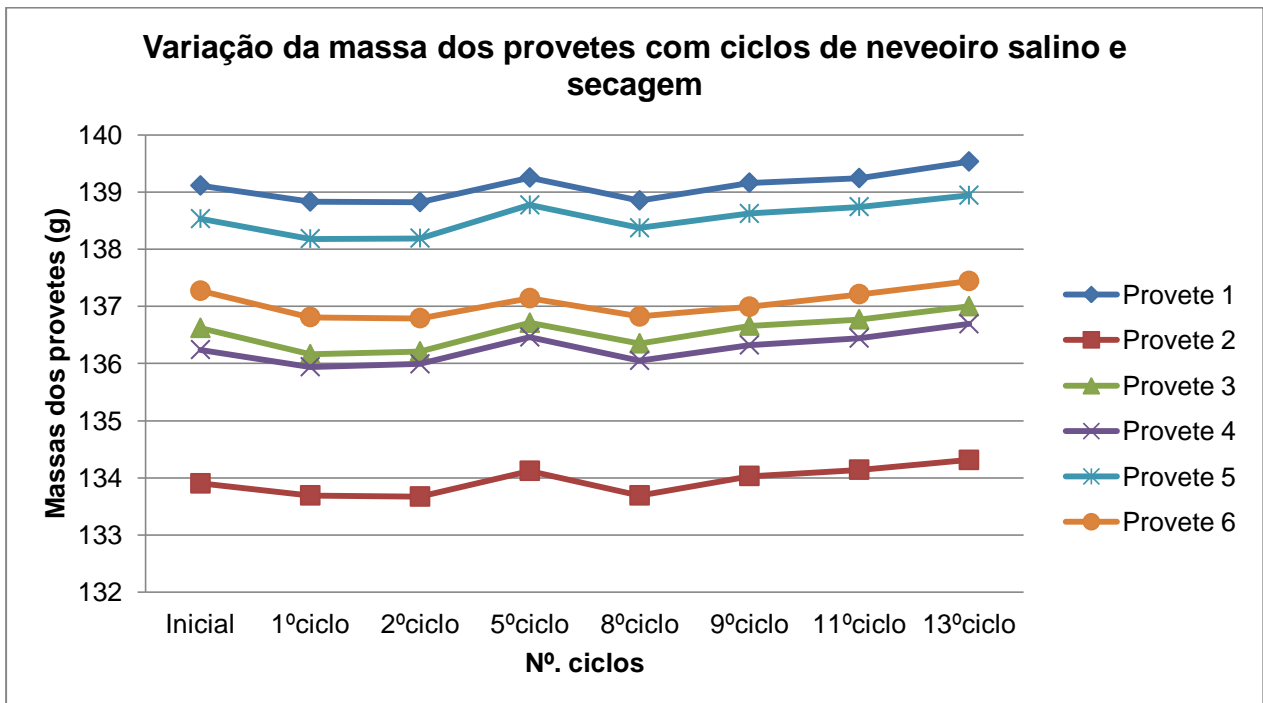


Figura 105 Variação da massa com ciclos de neveiro salino e secagem

Como se pode verificar no gráfico, a partir do 8º ciclo e para todos os provetes regista-se uma tendência de aumento de massa, como era expectável. Apesar do aumento ser da ordem dos 0,21 g em cada ciclo, seria interessante continuar a proceder a este tipo de ciclos

para verificar se efetivamente continuariam a ganhar esse acréscimo de massa de forma constante.

Ao 13º ciclo observou-se de forma idêntica a deposição superficial de sal no tardo dos provetes e nas superfícies laterais e nenhuma deposição na superfície exposta como mostra a figura 106.



Figura 106 Superfície exposta (esq.) e tardo do provete (dir.)

Observou-se ao microscópio se havia no interior dos poros da superfície exposta deposição de sal e nada foi observado. No tardo do provete e como atrás foi referido, comprovou-se a existência de alguns sais cristalizados apenas na superfície do provete, como mostra a figura 107.

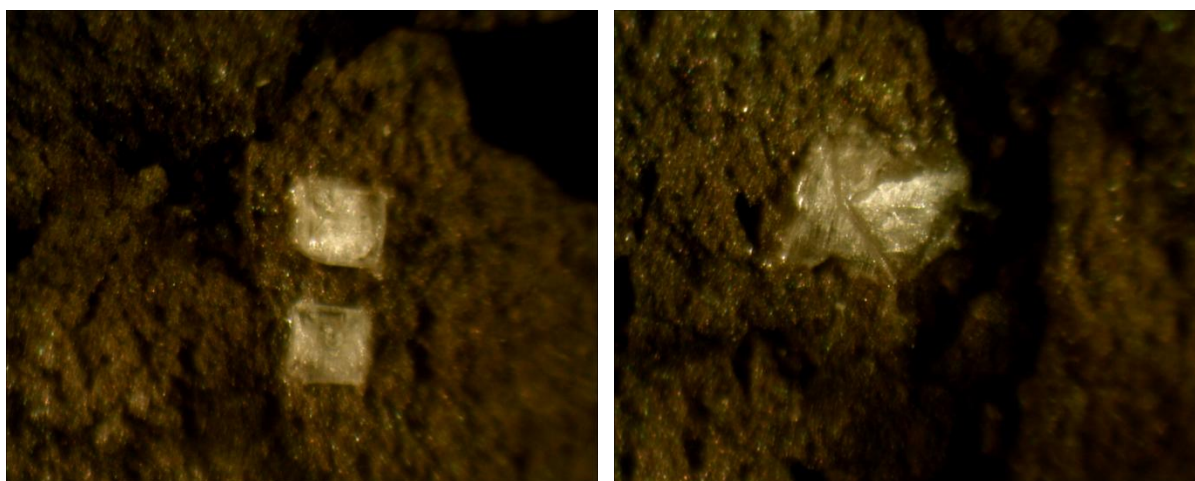


Figura 107 Cristais observados na superfície dos provetes

Com objetivo de saber se os 13 ciclos de 48 h de nevoeiro salino e secagem afetam a resistência mecânica do aglomerado, procedeu-se à colocação dos seis provetes que sofreram o ensaio numa câmara condicionada a 23 °C e 50% de HR e à colocação de outros seis provetes não sujeitos ao ambiente salino na mesma câmara com dimensões 250 mm x 90 mm x 40 mm.

Procedeu-se à pesagem diária de todos os provetes até estabilização da sua massa e realizou-se o ensaio de flexão aos 12 provetes segundo a norma EN 12089 [32].

No gráfico da figura 108 observa-se que não há aumento considerável de massa dos provetes que sofreram o nevoeiro salino, o que confirma que os sais que existiam no tardoz dos provetes são superficiais, não havendo expansão de sais no interior do aglomerado por absorção de humidade, o que provocaria um aumento da massa.

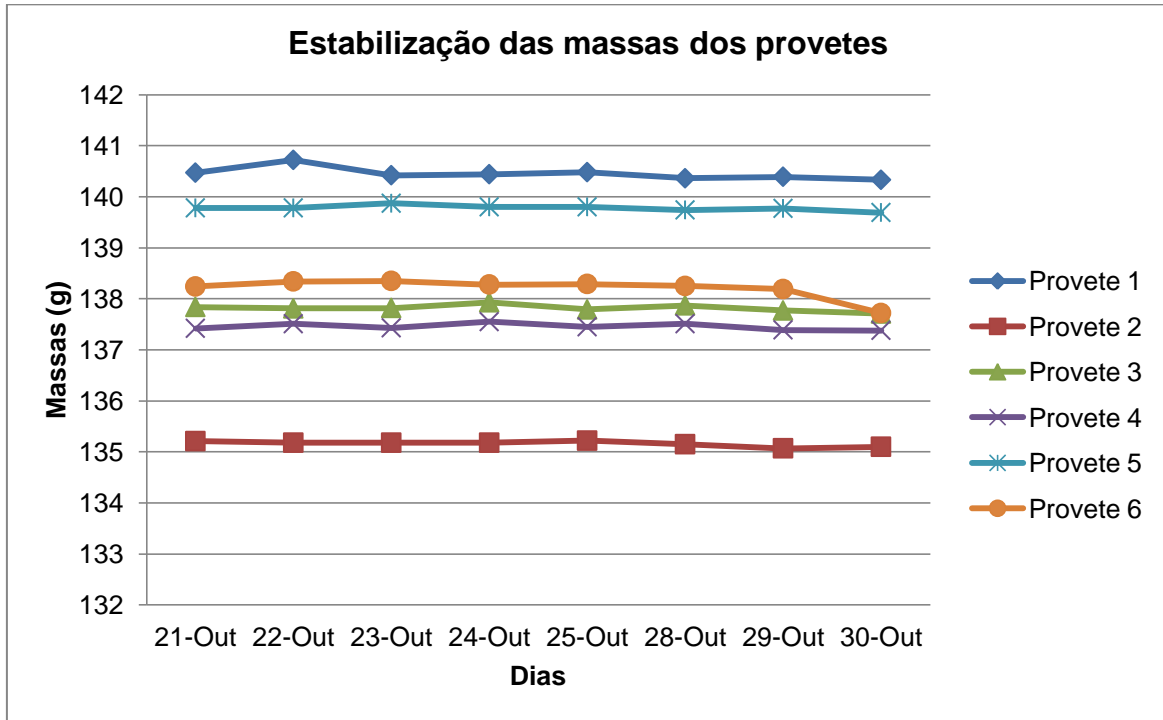


Figura 108 Estabilização das massas em ambiente condicionado 23/50

A resistência mecânica foi avaliada através de um ensaio de flexão e tal como mostra a figura 109, os provetes são colocados na horizontal e com um vão entre apoios de 220 mm. O incremento de carga é de 0,5 N e a velocidade de aplicação da carga 10 mm/min.



Figura 109 Realização do ensaio de flexão

No quadro 15 encontram-se os resultados deste ensaio.

Quadro 15 Resultados do ensaio de flexão dos provetes do neveiro salino e amostra inicial

Ensaio de Flexão		Espessura de ensaio (mm)	Massa volúmica aparente (kg/m ³)	Tensão de flexão na rotura ob (kPa)	Deformação na rotura (mm)
Amostra	Provete				
Inicial	1	40,4	146,7	199,5	12,2
	2	40,6	132,4	232,2	9,1
	3	40,4	141,7	211,9	10,5
	4	40,6	133,4	250,6	7,7
	5	40,6	146,3	216,2	14,9
	6	40,6	147,6	205,6	15,2
Média		---	141,35	219,33	---
Neveiro Salino	1	40,4	140,22	158,6	10,7
	2	40,4	134,99	164,9	13,9
	3	40,2	137,65	152,7	11,7
	4	40,2	137,4	167,2	13,0
	5	40,2	137,3	199,3	16,4
	6	40,2	139,64	175,1	15,4
Média		---	137,87	169,63	---

No anexo VI encontra-se a folha de registo do ensaio e, embora os provetes da amostra inicial tenham menos 10 mm de largura que os provetes do neveiro salino, a tensão de rotura à flexão não se altera de forma considerável pela ação do neveiro salino.

As massas volúmicas são semelhantes, havendo uma diminuição de cerca de 2,5% da massa volúmica inicial média em relação à massa volúmica dos provetes sujeitos ao neveiro salino.

Para as tensões de rotura à flexão, na amostra inicial o menor valor não chega a 10% da tensão média de cada amostra, no entanto há uma diminuição da tensão de rotura média nos provetes sujeitos ao neveiro salino de cerca de 23% em relação aos provetes iniciais. Não há assim uma dispersão elevada nos valores de ensaio. É frequente neste tipo de ensaios mecânicos (flexão, compressão e tração) registar-se uma elevada dispersão nos resultados devido à heterogeneidade da matéria-prima e/ou falta de controlo eficaz na produção [6, 7], o que leva a crer que esses dois problemas possam estar a começar a ser ultrapassados.

A norma do ICB para isolamento térmico [10] prevê um valor mínimo de 140 kPa e em ambas as amostras esse requisito foi cumprido.

7.1.9 Fungos e podridões

Este ensaio implicou o corte de provetes com as dimensões 45 mm x 45 mm x 15 mm que foram postos em frascos de vidro. Estes foram colocados numa câmara que funciona com uma temperatura ambiente de 25 °C e no interior da câmara é possível a criação de um ambiente húmido, facilitando o desenvolvimento de fungos e podridões. Devido ao facto das condições ambientes da sala de ensaio não serem as pretendidas, não foi possível a realização atempada deste ensaio.

7.1.10 Ensaio das reflectâncias totais

Foram realizados dois ensaios para se obterem as reflectâncias luminosas totais do aglomerado e dos vários tipos de vernizes e da tinta aplicados na célula através de dois métodos: o da esfera integradora e o das luminâncias.

O primeiro ensaio foi o da reflectância luminosa total que é realizado com uma esfera integradora que possui uma fonte luminosa, tal como mostra a figura 110.

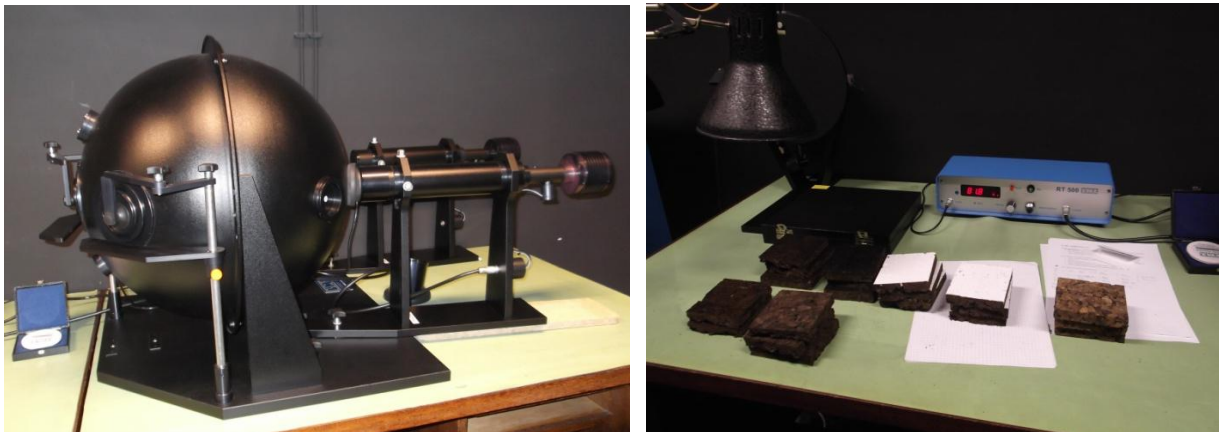


Figura 110 Esfera integradora e provetes a ensaiar

A medição da reflectância luminosa total é feita quando ocorre a incidência contínua de luz visível no interior dessa esfera. É medida por um detetor fotométrico que está instalado na superfície interna da esfera e a reflectância é a razão entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo luminoso incidente sobre a superfície do provete [33].

É de esperar que os resultados para as reflectâncias luminosas sejam baixos para os vernizes mais escuros e elevados para a tinta branca pois os vernizes absorvem uma maior gama de cores no espectro visível. Este ensaio é realizado com o intuito de se perceber qual é a reflectância e por consequência a absorção que ocorrem no aglomerado e vernizes aplicados sobre este para se verificar se absorvem muita radiação visível ou a refletem. Caso absorva, é importante saber se aquece demasiado ou não e se restitui o calor

rapidamente, pois poderá ou não aquecer a parede e transmitir demasiado calor para o interior dos edifícios. No entanto, o ensaio não permite estudar este fenómeno.

Procederam-se a três medições para os provetes com os diferentes acabamentos aplicados na célula e calculada a sua média como indica o quadro 16.

Quadro 16 Resultados das reflectâncias totais luminosas

Amostra	pmédio total (%)			ptotal (%)	Absorção (%)
	Prov 1	Prov 2	Prov 3		
Sem acabamento - inicial	5,2	5,3	5,6	5,3	94,7
Tinta Branca	89,1	85,8	86,9	87,3	12,7
Primário+Tinta Branca	88,4	89,0	91,2	89,5	10,5
Verniz Nogueira	5,6	5,5	5,4	5,5	94,5
Verniz Pinho	4,9	4,9	5,0	4,9	95,1
Verniz incolor	5,7	5,7	-	5,7	94,3
Exposta em condições reais	19,4	16,6	10,5	15,5	84,5

Nos três provetes os valores foram semelhantes. A tinta branca e o primário com tinta branca apresentaram valores parecidos, o que indicia que com duas demãos de tinta branca ou com a aplicação do primário seguida de uma demão de tinta, a reflectância total seja muito semelhante. O valor superior para o provete com primário pode ser devido ao facto deste tornar a superfície mais opaca. De salientar que os provetes expostos na célula, aquando deste ensaio, estavam lá colocados há praticamente dois meses e meio e foi evidente a diferença de valores para um provete de uma placa inicial sem acabamento (5,3%), aumentando para mais do dobro o valor da reflectância do provete que estava exposto (15,5%).

A maior ou menor reflectância traduz a capacidade do material em reduzir a quantidade de calor por ele absorvida [33].

O segundo ensaio consistiu na obtenção da reflectância com recurso a um luminancímetro (figura 111), com objetivo de comparar os valores obtidos com os obtidos no ensaio anterior. O luminancímetro mede luminâncias (em candela por metro quadrado) na gama visível do espectro. Neste caso, o chamado método das luminâncias com luz natural não dá o resultado de forma direta, uma vez que se utilizam dois padrões de reflectância diferentes. Utiliza-se a expressão matemática indicada no anexo VII.



Figura 111 Luminancímetro

Colocou-se uma das amostras utilizadas no ensaio anterior entre duas placas padrão cujas reflectâncias são conhecidas: uma cinzenta e outra branca (figura 112). Estas devem ser colocadas numa superfície vertical, com incidência de luz natural.



Figura 112 Provetes a ensaiar e placas de reflectâncias conhecidas

Com o equipamento referido mediu-se a luminância de ambos os padrões três vezes. De seguida, mediu-se o mesmo número de vezes cada provete sem acabamento e com os três tipos de acabamento (Quadro 17 e anexo VII). Esta medição deve ser feita o mais próximo possível das placas padrão. Obtém-se a chamada reflectância hemisférica-hemisférica por incidência da luz visível e através da média de cada três provetes iguais obtém-se a reflectância total tal como indica o quadro 17. É importante ter em consideração que a luz existente no compartimento não é a mesma luz visível do ensaio anterior. Na esfera integradora apenas existe um feixe de luz na gama do visível e no compartimento poderia existir mais gamas porque tem-se a chamada *luz natural* a incidir sobre ele. No entanto como a luz natural entra pelo vidro e este é opaco às radiações IV e UV, o compartimento acaba por receber apenas a luz visível, no entanto o luminancímetro apenas é sensível à radiação visível, só medindo as luminâncias nesta gama.

Quadro 17 Determinação da reflectância hemisférica-hemisférica para os provetes de aglomerado exposto na célula

Provetes	Lprov.	Lcinz	Lbranco	ph_h	
Provete 1	22	46	157	0,120	
Provete 2	30	42	138	0,183	
Provete 3	25	38	125	0,168	
			Média	0,157	15,7%

No quadro 18 estão os resultados médios obtidos das reflectâncias hemisféricas-hemisféricas e a absorção para todos os provetes ensaiados.

Quadro 18 Reflectâncias e absorção do luminancímetro

Provetes	Reflectância	Absorção
Sem acabamento - inicial	5,4%	94,6%
Tinta Branca	82,8%	17,2%
Primário+Tinta Branca	86,9%	13,1%
Verniz Nogueira	4,5%	95,5%
Verniz Pinho	4,2%	95,8%
Verniz incolor	4,3%	95,7%
Exposto em condições reais	15,7%	84,3%

Como seria de esperar, o verniz pinho, mais escuro, é o que reflete menos e absorve mais radiação, sendo então o que mais calor irá transmitir à parede. O primário confere uma ligeira opacidade ao aglomerado, traduzida pela maior reflectância e menor absorção de luz, pelo que absorve menos do que a tinta branca sem este.

Comparando os valores da esfera integradora com o luminancímetro pode-se concluir que os valores de reflectância praticamente não variaram, como se pode analisar no quadro 19.

Quadro 19 Valores da absorção da esfera integradora e do luminancímetro

Provetes	Esfera Integradora		Luminancímetro	
	Reflectância	Absorção	Reflectância	Absorção
Sem acabamento - inicial	5,3%	94,7%	5,4%	94,6%
Tinta Branca	87,4%	12,7%	82,8%	17,2%
Primário+Tinta	89,5%	10,5%	86,9%	13,1%
Verniz Nogueira	5,5%	94,5%	4,5%	95,5%
Verniz Pinho	4,9%	95,1%	4,2%	95,8%
Verniz incolor	5,7%	94,3%	4,3%	95,7%
Exposto em condições reais	15,5%	84,5%	15,7%	84,3%

O provete com acabamento de primário e demão de tinta branca é o que reflete mais e o verniz pinho, o mais escuro, é o que reflete menos.

Os resultados obtidos neste ensaio podem estar relacionados com a fiabilidade dos métodos e o rigor com que ambos os ensaios foram realizados.

Segundo o quadro 19, é curioso observar a diferença de 10% no valor da absorção no provete exposto na célula, durante dois meses, quando comparado com a amostra inicial sem acabamento. É possível concluir que o provete adquire efetivamente uma tonalidade mais clara, traduzindo-se pelos resultados obtidos. É de referir que o aglomerado quando exposto em condições reais e aclarando no verão, permite, nesta estação, uma maior reflectância, reduzindo a absorção (sendo assim menor a transmissão para a parede), fazendo o inverso no inverno por readquirir uma tonalidade mais escura, sendo importante avaliar como se efetua a transmissão de calor pelo aglomerado e se se restitui o calor rapidamente.

7.1.11 Ensaio do fogo

Para a classificação do desempenho de reação ao fogo do aglomerado de cortiça expandida, os *cenários* normalmente considerados são a ação de uma pequena fonte de ignição, de objetos isolados em combustão e uma situação de fogo generalizado [34]. No presente estudo apenas se realizaram os ensaios da ignitabilidade [35] e o ensaio *SBI* (*single burning item*) [36].

O primeiro ensaio foi executado segundo o procedimento definido na EN ISO 11925-2 [35] que visa avaliar a inflamabilidade de produtos sujeitos a pequena chama direta.

Este ensaio é realizado numa câmara de combustão (figura 113), que tem no seu interior um pequeno bico de gás que gera a fonte de ignição e que origina uma pequena chama. Na referida câmara de combustão os provetes, com massa estabilizada previamente a 23 °C e 50% HR e com as dimensões normalizadas de 250 mm x 90 mm x 60 mm, são colocados na vertical e procede-se à deslocação da fonte de ignição, manualmente, até ao bordo inferior do provete ou a meio da superfície com incidência lateral (figura 114).



Figura 113 Câmara de combustão

O ensaio de ignitabilidade consiste na avaliação da facilidade de ignição que um produto tem, neste caso o aglomerado, quando sujeito a incidência direta de uma pequena chama, o que pode ser comparado com a ação de um isqueiro ou fósforo em condições exteriores [34]. O ensaio realiza-se para um ataque de bordo e para um ataque lateral.

A avaliação da inflamabilidade do aglomerado é medida pela propagação da chama durante 15 s ou 30 s para os diferentes tipos de ataque, respetivamente para obtenção da classe E e igual ou superior a D.

A norma recomenda que o teste seja realizado com o mínimo de seis provetes, quatro destes sujeitos a ataque de bordo e os outros dois a ataque lateral.

Foram seleccionados três provetes cuja direção de corte da placa era longitudinal e outros três que o corte era transversal. Esta definição foi da responsabilidade do laboratório.

É fundamental garantir que a pequena chama, ao ser preparada e nivelada com o comprimento definido de 20 mm, fique a 45° para que incida no provete.

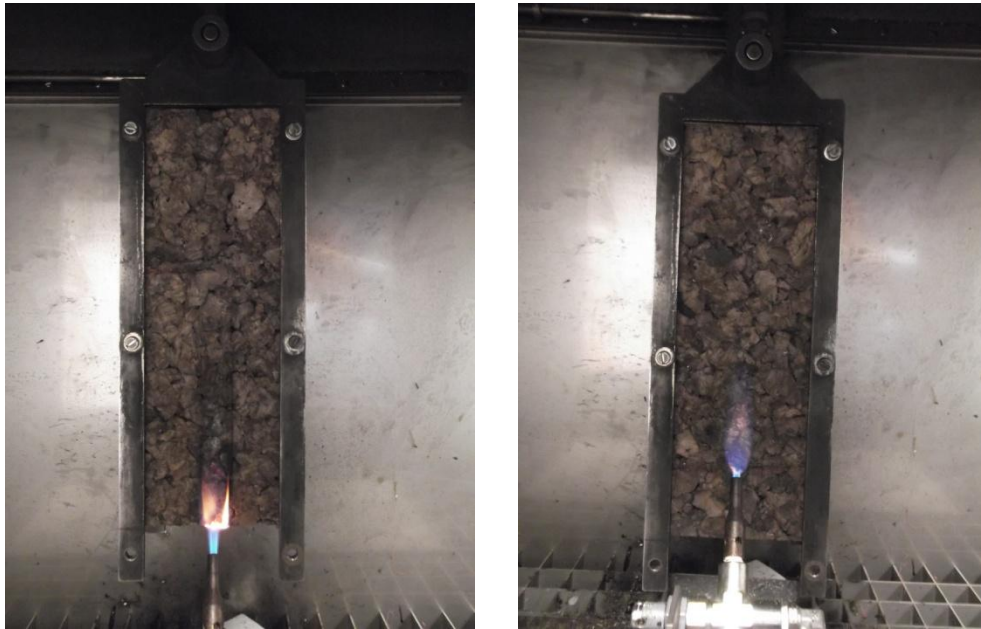


Figura 114 Ataque de bordo e ataque lateral

Os resultados deste ensaio consistem no registo da posição de aplicação da chama, na verificação de ocorrência de inflamação, na medição do tempo de inflamação e extinção, na queda de gotas sob a forma de partículas inflamadas que caem sobre o papel de filtro colocado por baixo do provete, na observação do comportamento físico do provete, na medição da zona destruída e ainda se a ponta da chama do provete atinge 150 mm acima do seu ponto de aplicação e o tempo em que tal acontece.

Neste ensaio foram efetuados os tempos de 15 s e 30 s atrás referidos, sendo que o tempo total de cada um foi respetivamente 20 s e 60 s. Para efeitos de classificação da reação ao fogo através deste ensaio, apenas interessa saber a distância de propagação da chama traduzida pelo índice FS da EN ISO 11925-2 e que este não seja maior do que 150 mm num período de tempo inferior a 20 s (para obter a classe E) [34].

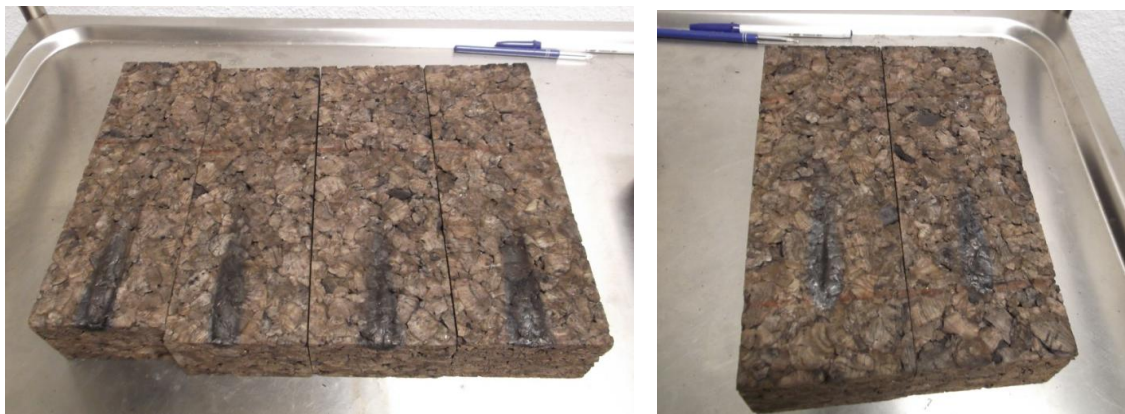


Figura 115 Provetes ensaiados com ataque de bordo (esq.) e ataque lateral (dir.)

Os resultados foram registados no boletim de ensaio e encontram-se na figura 116:

FRE 1 DO ES 1 (ENSAIO DE IGNITABILIDADE)								
RESULTADOS DOS ENSAIOS								
(Ataque de Bordo)								
Provete Nº	Inflamação (s)	FS ≥ 150 mm (s)	Extinção (s)	Queda de Gotas	Inflamação papel de filtro	Zona destruída (mm)		Observações
						Comp.	Largura	
L1	5,17	-	31,83	NÃO	NÃO	100	27	
L2	5,29	-	31,29	NÃO	NÃO	80	26	
L3								
T1	4,58	-	31,27	NÃO	NÃO	85	18	
T2	4,29	-	32,42	NÃO	NÃO	78	25	
T3								
(Ataque da Face Principal)								
Provete Nº	Inflamação (s)	FS ≥ 150 mm (s)	Extinção (s)	Queda de Gotas	Inflamação papel de filtro	Zona destruída (mm)		Observações
						Comp.	Largura	
L1								
L2								
L3	10,31	-	46,53	NÃO	NÃO	85	20	
T1								
T2								
T3	10,85	-	33,53	NÃO	NÃO	84	19	

Figura 116 Excerto do boletim de ensaio de ignitabilidade

A classe de reação ao fogo do aglomerado de cortiça expandida é a E, e o requisito atrás descrito ($FS \leq 150$ mm em 20 s) foi cumprido tal como mostra a tabela acima, obtendo essa classificação.

A título de curiosidade, imergiram-se dois provetes com dimensões 250 mm x 90 mm x 15 mm em ácido bórico e borato de sódio com percentagens de diluição em água de 1,25% e 1% respetivamente, com objetivo de ignifugar o aglomerado e realizar o ensaio de ignitabilidade, para analisar as diferenças que ocorrem no seu comportamento quando comparado com o aglomerado sem qualquer ignífugo. Os provetes estiveram imersos durante três dias e ficaram a secar em ambiente condicionado 23/50 durante uma semana (figura 117).

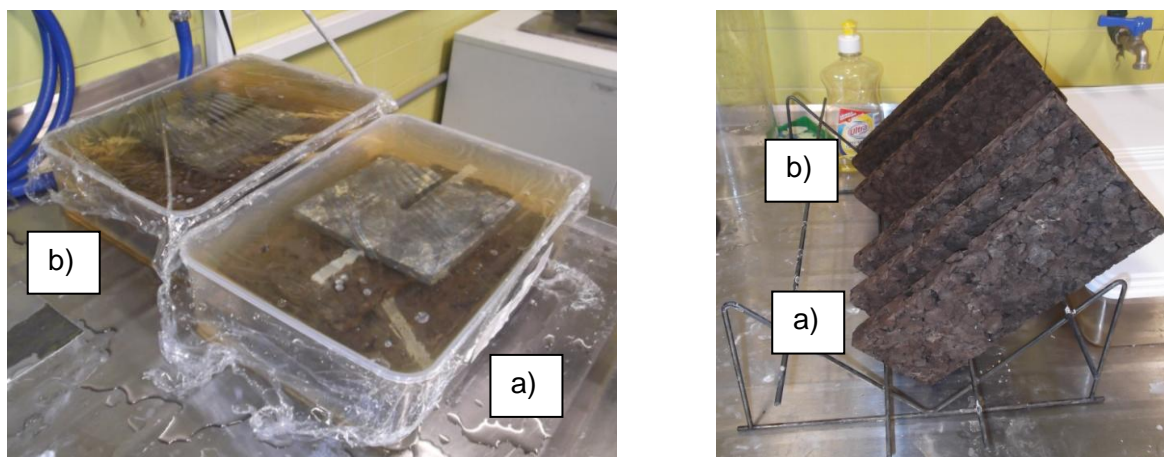


Figura 117 Imersão do aglomerado em ácido bórico a) e borato de sódio b) e secagem/estabilização

O ensaio foi realizado da mesma forma como para o aglomerado sem ignífugo e registados os tempos de inflamação e extinção para 15 s e 30 s, com os tempos totais de 20 s e 60 s respetivamente.

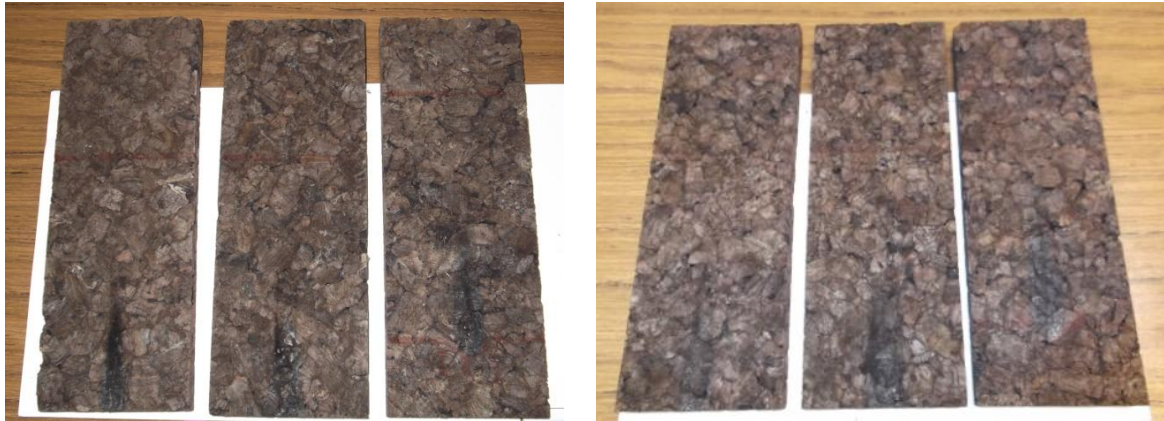


Figura 118 Provete após ensaio com ácido bórico (esq.) e borato de sódio (dir.)

Nos quadros 20, 21 e 22 estão os resultados do ensaio com os ignífugos.

Quadro 20 Resultados para o ataque de bordo e ataque da face principal

Ataque de Bordo

Provete Nº	Inflamação (s)	FS ≥ 150 mm	Extinção (s)	Queda de Gotas	Inflamação papel de filtro	Zona destruída (mm)	
						Comp.	Larg.
1	1,84	-	17,33	NÃO	NÃO	75	12
2	1,13	-	16,6	NÃO	NÃO	70	20
4	1,09	-	15,66	NÃO	NÃO	78	20
5	1,06	-	15,9	NÃO	NÃO	74	25

Ataque da Face Principal

Provete Nº	Inflamação (s)	FS ≥ 150 mm	Extinção (s)	Queda de Gotas	Inflamação papel de filtro	Zona destruída (mm)	
						Comp.	Larg.
3	5,34	-	25,67	NÃO	NÃO	70	15
6	2,67	-	21,56	NÃO	NÃO	65	18

Ácido bórico | Borato de sódio

Para o ensaio com os ignífugos não foi tida em conta a direção de corte (longitudinal e transversal) por se tratar apenas de uma experiência para observar as diferenças que ocorrem com a sua aplicação.

Quadro 21 Comparação dos resultados do ataque de bordo para os três tipos de provetes

Ataque de Bordo		
Provetes	Média do instante da inflamação (s)	Média do instante da extinção (s)
Aglomerado sem ignífugo	4,83	31,70
Aglomerado com ácido bórico	1,49	16,97
Aglomerado com borato de sódio	1,08	15,78

Quadro 22 Comparação dos resultados do ataque da face principal para os três tipos de provetes

Ataque da Face Principal		
Provetes	Média da inflamação (s)	Média da extinção (s)
Aglomerado sem ignífugo	10,58	40,03
Aglomerado com ácido bórico	5,34	25,67
Aglomerado com borato de sódio	2,67	21,56

Pela comparação dos resultados, é possível observar que há uma diminuição muito acentuada, da ordem dos 50%, dos tempos de inflamação e extinção. Ambos os ignífugos podem melhorar o desempenho ao fogo do aglomerado conforme se confirma pelos quadros anteriores. Apesar dos provetes estarem menos tempo a arder, a inflamação ocorre mais cedo o que é penalizador mas como a chama extingue-se mais cedo “ajuda” na melhor reação ao fogo. Como não atinge 150 mm a classe de classificação continua a ser E, o que continua a limitar a aplicação do aglomerado no exterior. Seria assim interessante pensar numa solução a nível do processo de fabrico que integrasse o tratamento das placas num destes ignífugos, embora assim deixasse de ser um material *natural*. É também de referir que se deveria ter realizado o ensaio SBI para se verificar a propagação da “grande chama”.

A norma EN 13823 [36] (ensaio SBI) pretende avaliar vários parâmetros do desempenho do aglomerado face à ação de um elemento isolado em combustão. O provete a ensaiar consistiu na colagem das placas de aglomerado a um suporte não combustível que forma duas abas retangulares ortogonais, uma com dimensões de 1500 mm x 500 mm x 1 mm e outra com 1500 mm x 1500 mm x 1 mm, de forma a traduzir a aplicação em condições reais. O provete constituído por várias placas de aglomerado e pelo suporte, forma um diedro vertical e foi colocado por cima do dispositivo que produz a chama que incide sobre o canto inferior, traduzindo a situação mais desfavorável possível de acontecer, em condições reais, como é o caso da combustão de um elemento no interior de um compartimento, uma peça de mobiliário ou um cesto de papéis [34].

As placas de aglomerado a colar foram previamente estabilizadas em ambiente condicionado 23/50 e aplicaram-se diretamente nas placas os oito cordões de cola prego recomendados (figura 119).

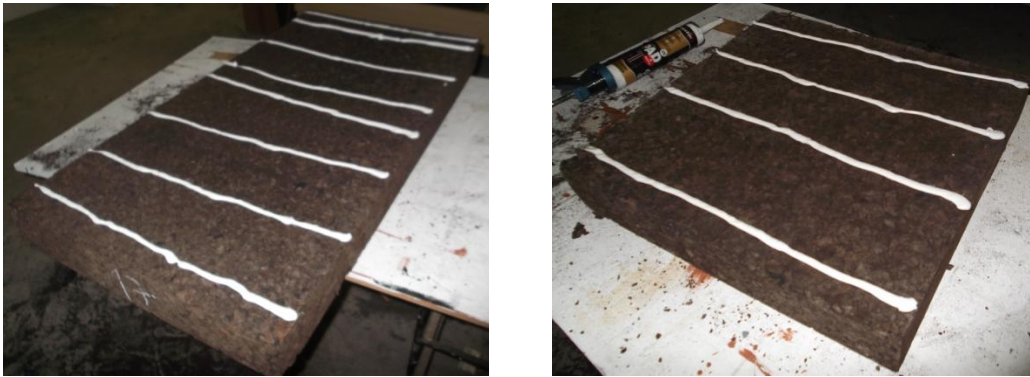


Figura 119 Colagem das placas para o ensaio

Posteriormente procedeu-se à colocação no suporte e, tal como na célula, as juntas do canto ficaram desencontradas na zona do canto tal como mostra a figura 120. Esta forma de dispor as juntas é a que se deve utilizar em obra, contudo segundo a norma EN 13823, o canto do provete não deve coincidir com as juntas. Devia haver uma junta na aba maior e outra junta no canto, pois a chama, apesar de se iniciar no canto, alcançaria rapidamente a junta na aba maior e propagaria-se com maior facilidade.



Figura 120 Provete para o ensaio de SBI

Com este ensaio determinaram-se os parâmetros definidos na norma como é o caso do índice FIGRA (taxa de desenvolvimento do fogo), do índice SMOGRA (taxa de desenvolvimento de fumo), do calor total libertado (THR 600 s), da produção total de fumo (TSP 600 s) num período definido de 600 s, a determinação da propagação lateral da chama (LFS) e o registo do instante de ocorrência de queda de gotas ou partículas e da duração das respetivas inflamações [34].



Figura 121 Início do ensaio – propagação de calor



Figura 122 Início do ensaio – evolução do ensaio



Figura 123 Extinção da chama e jacto de água



Figura 124 Provete após o ensaio SBI

Pela figura 124, é perceptível que mesmo durante os 20 mins de ensaio, a chama não atingiu toda a espessura da placa, ficando alguns centímetros intactos. Se a placa tivesse 20 mm ou mesmo 40 mm, provavelmente ficaria totalmente destruída pelas chamas. Houve propagação na superfície mas apenas vertical e não houve em profundidade devido à elevada espessura da placa de aglomerado.

Na figura 125 está um excerto do boletim de ensaio com os resultados do ensaio:

Classification results		Classification observations		Potential classification	
FIGRA(0.2)	1130.0 W/s at 330 s	LFS to edge?	No	Class	E
FIGRA(0.4)	1130.0 W/s at 330 s	FDP flaming <= 10s?	No	Smoke production	s1
THR(600)	12.2 MJ	FDP flaming > 10s?	No	Flaming droplets/particles	d0
SMOGRA	threshold not reached				
TSP(600)	42.3 m ²				

Recorded events Surface flashes? No; Falling specimen parts? No; Smoke not entering hood? No
Mutual fixing of backing board failed? No; Distortion/collapse of specimen? No

Figura 125 Excerto do boletim de ensaio SBI

Para obtenção da classe E no ensaio SBI, não há nenhum requisito. Para a obtenção da classe D, é necessário que o $FIGRA \leq 750 \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$ e tal não se verifica como mostra a tabela acima, logo a classe obtida é a classe E. Esta classe condiciona a aplicação do aglomerado como revestimento exterior de edifícios de pequena e média altura.

7.2 Ensaio na célula experimental

O plano de ensaios em condições reais consistiu na realização de ensaios de:

- Termografia e sensor de temperatura superficial
- Choques e perfuração
- Medição das juntas entre placas de aglomerado coladas
- Reflectância solar

A justificação para a sua realização tem a ver com a importância que estas características têm num revestimento exterior. Devido à falta de equipamento disponível não foi possível realizar outros que estavam previstos (colocação de sondas nas paredes, remoção de uma parte de placas de diferentes fachadas e determinação do teor de água, remoção e substituição de placas com objetivo de inspecionar as colas e dificuldade em descolar aquelas).

7.2.1 Termografia e sensor de temperatura superficial

Para se medir as temperaturas superficiais das paredes é comum utilizar-se sondas de temperatura superficial, termopares, termístores e aparelhos de termografia [37].

Os materiais emitem radiação infravermelha em função da sua temperatura e essa emissão é possível ser analisada com termógrafos. Têm uma elevada precisão, operam à distância e o registo das leituras é automático (figura 126).



Figura 126 Equipamento de termografia

A sonda de temperatura superficial funciona por contacto com a superfície e tem uma gama de leitura entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mede pontualmente a temperatura, pelo que os resultados fornecidos podem ser diferentes dos obtidos com a termografia que apresenta uma distribuição superficial da temperatura.



Figura 127 Sensor de temperatura superficial

Na termografia é sempre definida a emitância do material e para materiais de construção isolantes normalmente define-se entre 0,85 a 0,90. O valor adotado para o aglomerado foi de 0,85.

As termografias obtidas no mês de Junho foram as mostradas nas seguintes figuras.

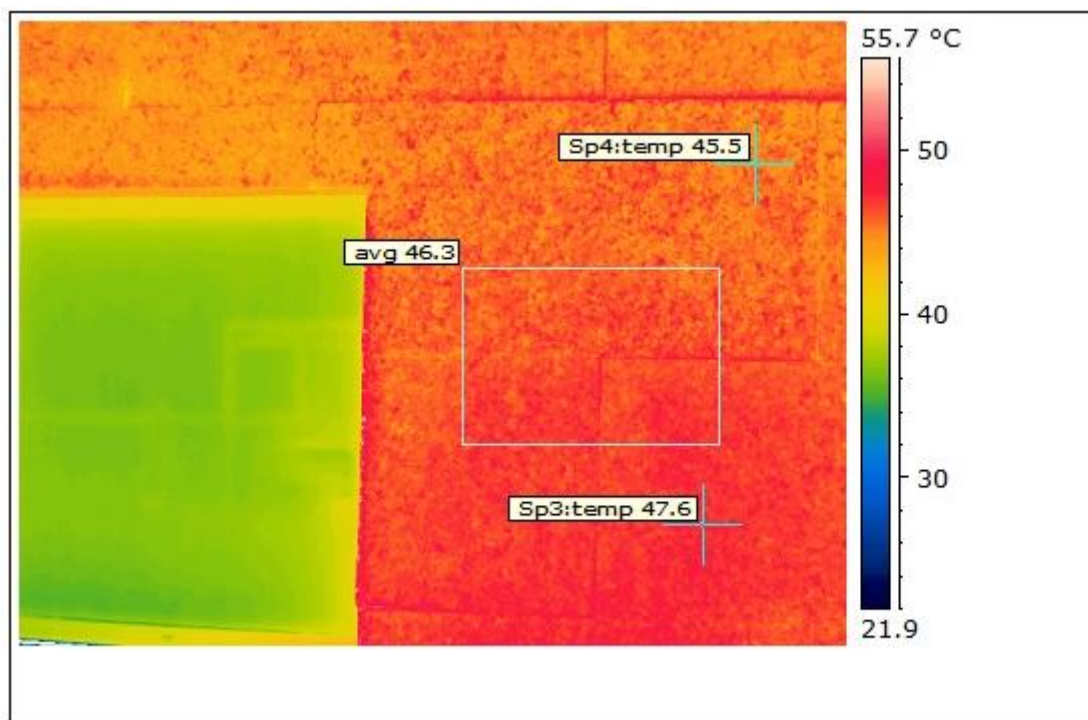


Figura 128 Fachada Sul

Com o sensor de temperatura superficial obtiveram-se nos mesmos pontos 38.0 °C e 38.7 °C, valores com quase 10 °C de diferença. Ao se medirem estas temperaturas, demora cerca de dois minutos a estabilizar na superfície a sua temperatura e basta um toque ou deslize que a temperatura modifica logo.

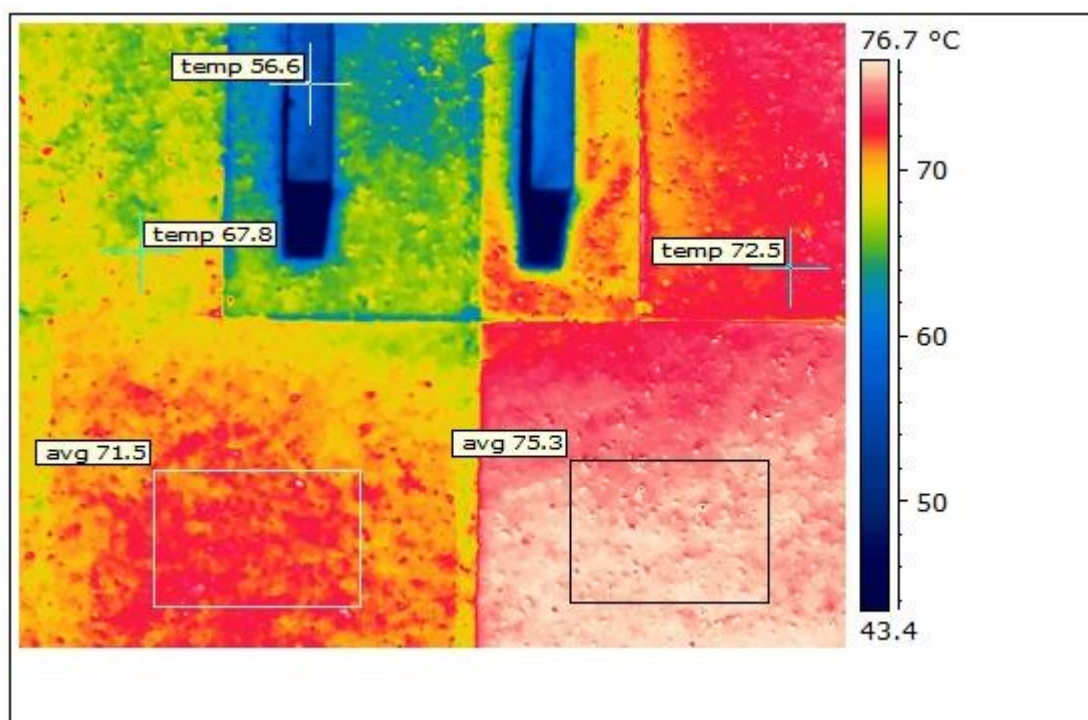


Figura 129 Fachada Poente (à esq. verniz noqueira claro e à dir. verniz pinho escuro)

A temperatura superficial do verniz nogueira era de 43.7 °C e no verniz pinho de 44.5 °C. Também nesta fachada se verifica uma diferença considerável entre as medições da termografia e do sensor da ordem dos 30 °C, provavelmente devida ao facto do contacto do sensor ser pontual, não ser perfeito e estar sujeito à velocidade do ar/vento. Tendo o aglomerado uma superfície rugosa e sendo poroso, o sensor demonstrou ser pouco fiável para este tipo de superfície.

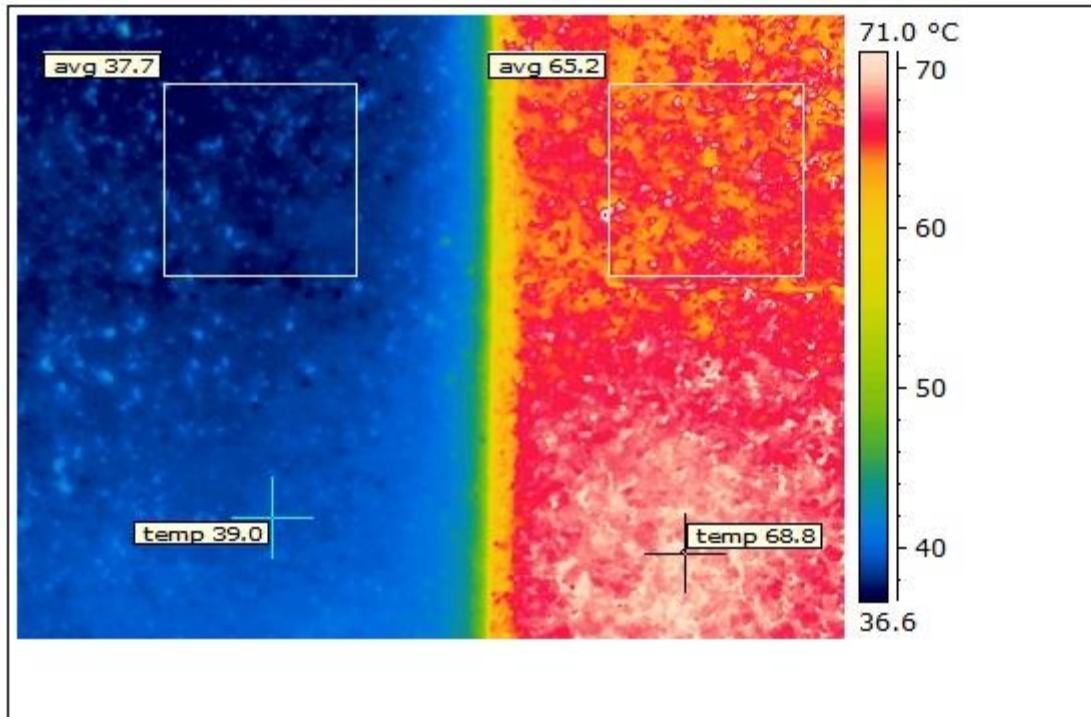


Figura 130 Fachada Poente (à esq. tinta branca sem primário e à dir. verniz pinho)

Na tinta branca a temperatura superficial era de 38.2 °C. Este foi o valor obtido mais próximo quando comparado com a termografia com apenas 0.1 °C de diferença, o que pode levar a concluir que o sensor de temperaturas superficiais pode ser um bom equipamento para superfícies que não absorvam tanto calor.

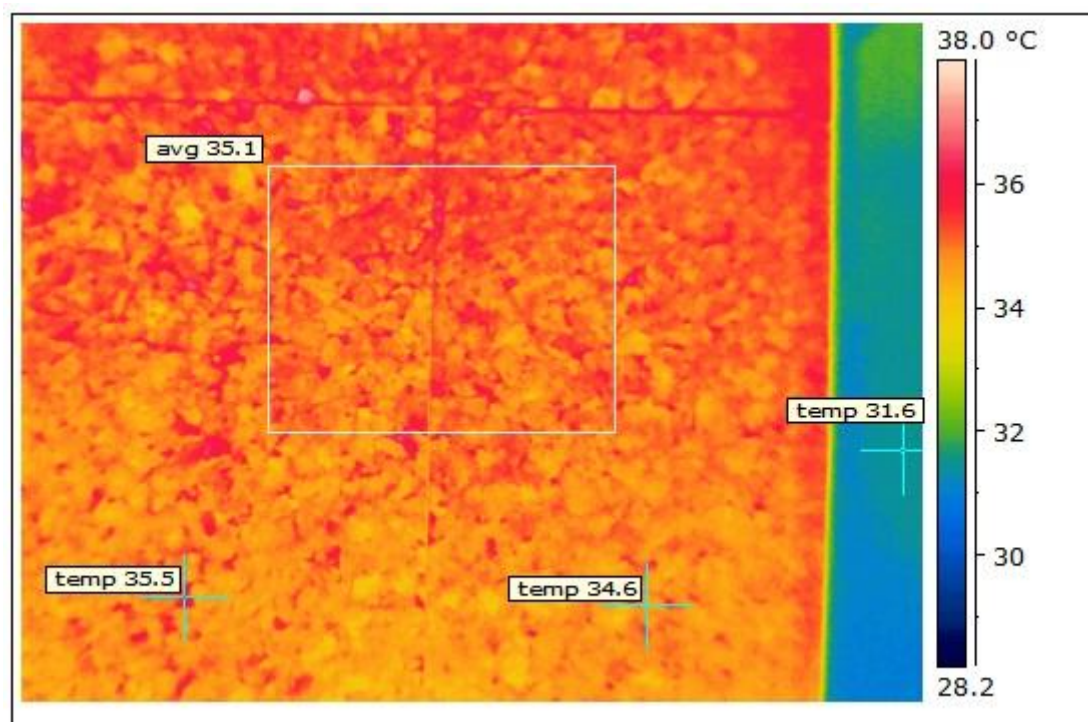


Figura 131 Fachada nascente (tinta branca com primário)

A temperatura superficial na tinta branca com demão primário era 31.8 °C, com apenas 3 °C de diferença. Experimentou-se medir a temperatura ambiente com a termografia do lado direito da imagem (31.6 °C) e a esta hora do dia o termómetro indicava 30 °C.

É possível então concluir que, independentemente do tipo de equipamento para medir a temperatura superficial do revestimento, as cores escuras vão provocar mais ganhos de calor no aglomerado que aquece muito em relação à temperatura ambiente. No entanto o aglomerado sendo isolante e tendo capacidade térmica, a maior parte do calor absorvido perde-se para fora. Os 80 mm de espessura permitem que o calor não avance para interior, por condução, de forma tão rápida como acontece com a perda por radiação e convecção para o exterior.

7.2.2 Ensaio de choques e de perfuração

Este ensaio faz parte de um conjunto de procedimentos desenvolvidos para a concessão de uma aprovação técnica europeia de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) [38], que tem sentido seguir por se ter optado pelo aglomerado de cortiça expandida – isolante térmico – aplicado como revestimento exterior.

Por ser uma zona exposta, estar sujeito a agressões físicas tais como perfuração de objetos, passagem de pessoas, impactos de objetos, vandalismo ou outros choques e tipos de agressões, faz sentido proceder a este ensaio.

O primeiro ensaio designa-se por ensaio de impacto e a carga de impacto que se pode colocar é de 3 J e 10 J. Tem como objetivo observar o que acontece ao aglomerado decorrendo desses choques e perceber se há deterioração do material, penetração ou fendilhação.

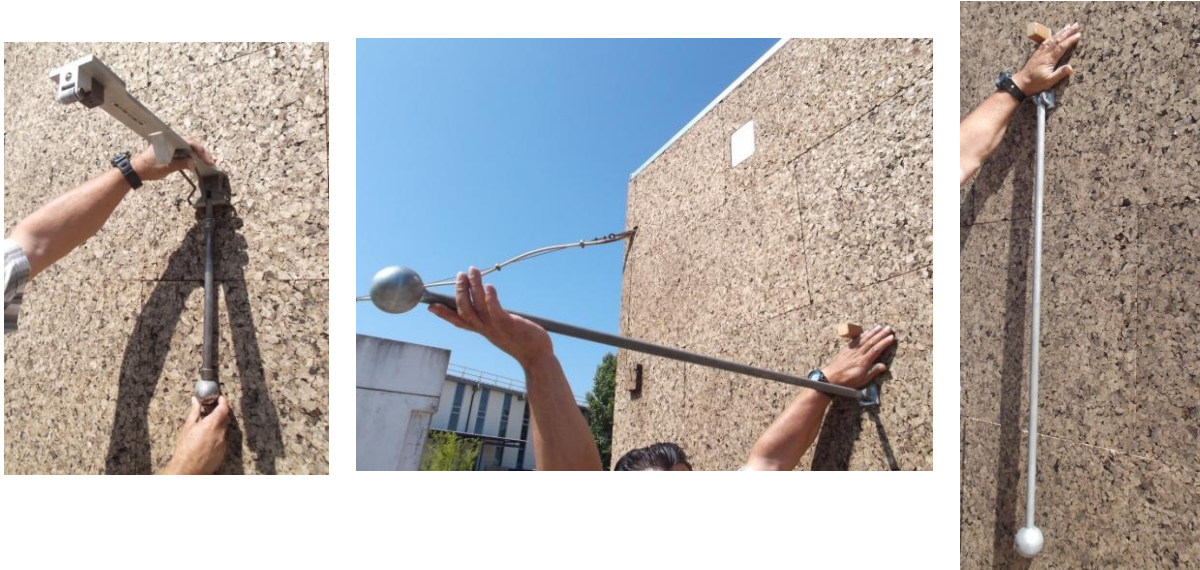


Figura 132 Ensaio de impacto 3 J e 10 J

O segundo ensaio designa-se por ensaio de perfuração ou *Perfotest* e, tal como o nome indica, pretende-se observar se ocorre ou não perfuração com disparos de um objeto circular de diferentes diâmetros, respetivamente 6 mm, 12 mm e 20 mm. Apesar do ensaio não ter como objetivo observar a fissuração, tal pode ocorrer sem haver perfuração.



Figura 133 Perfotest

Ambos os ensaios foram realizados em duas fases diferentes. Na primeira fase apenas foram realizados os testes a nível qualitativo e passado um mês e meio foram realizados os mesmos testes com medições rigorosas para registo de eventuais alterações e conclusões mais sustentadas.

O primeiro dia de ensaio iniciou-se com o teste do *Perfotest*. De forma a perceber se eram necessárias cargas de impacto superiores, e tal como utilizado para os ETICS, escolheu-se a carga com diâmetro de 20 mm. Observa-se o ocorrido e conclui-se se há ou não

perfuração ou penetração. Fizeram-se em três locais diferentes da fachada e observou-se então que o equipamento provocava a fissuração de três círculos não completos.

Passou-se para a carga inferior de 12 mm em três locais distintos e neste caso houve penetração.

Se com a carga de 12 mm houve penetração, para 6 mm será mais evidente e visível a penetração pelo que apesar de se poder excluir a sua realização, optou-se por a realizar.

O ensaio de choque foi realizado de seguida, inicialmente com uma bola de impacto de 3 J que não causou qualquer alteração no aglomerado.

A bola de 10 J, já de maior dimensão, fez uma marca perceptível ao toque mas que não era visível. De notar nesta situação a excelente capacidade do aglomerado readquirir a posição inicial após este choque. Passados 15 segundos já não se sentia a marca deixada pela bola.

Fazendo uma análise qualitativa e segundo os critérios de apreciação (anexo VIII) destes dois ensaios, é possível concluir que o aglomerado de cortiça expandida tem a categoria I: “sem deterioração após choque de 3 J e de 10 J e sem perfuração com punção de 6 mm”.

Passado um mês e meio realizou-se o mesmo ensaio, com o objetivo de perceber se passado este tempo as características de resistência do aglomerado ao choque e perfuração modificam e se de, alguma forma, a superfície se degrada.

Começou por se realizar o ensaio de choque de 3 J. Foram provocados três impactos do lado direito da fachada a sul e dois do lado esquerdo. Em todos eles não foi visível a alteração e apenas ao tato se tinha a sensibilidade do impacto. Desenhou-se um círculo à volta da área danificada e marcou-se a área onde se sente ao tato a moessa provocada. Mediu-se com uma régua essa distância.



Figura 134 Resultados do ensaio de choque com carga de 3 J

De seguida fez-se o choque com a carga de 10 J e visivelmente não se percebeu qual a área que tinha sofrido o impacto mas ao toque tal era possível. Marcou-se da mesma forma a zona de impacto.



Figura 135 Resultados do ensaio de choque com carga de 10 J

É de realçar, tal como constatado no ensaio qualitativo, a rapidez com que o aglomerado readquire a sua forma inicial.

Com o pêndulo utilizado no choque, observou-se com maior rigor, uma ligeira abertura de fissuras mas na zona “magoada” o aglomerado recupera rapidamente a forma inicial, deixando de ser sentida passados 15 a 20 segundos.

Na fachada a poente foram realizados três impactos de 3 J e 10 J respetivamente, observando-se iguais reações por parte do aglomerado. É então possível concluir que a resposta do impacto é independente da exposição solar.

Fez-se também um choque com 10 J sobre a parte da fachada com o acabamento de verniz pinho e verificou-se que foi ainda menos gravoso o choque, praticamente impercetível, conferindo então o verniz alguma proteção e resistência a choques ao aglomerado.

Para o *perfotest* tal como utilizado nos ETICS realizou-se a punção de 6 mm. Se se observar perfuração, é dispensável fazer o de 4 mm pois perfura garantidamente. As observações a fazer neste ensaio são duas: se fissura ou perfura e são também marcados círculos à volta da zona de perfuração.

Com a punção de 6 mm verificou-se que o aglomerado perfurou, com a de 12 mm fissurou mas não perfurou, ou seja, não ficou a marca da punção em profundidade.

Por fim testou-se com punção de 20 mm e verificou-se que não perfurou nem fissurou.



Figura 136 Resultados do ensaio de impacto de 6 mm, 12 mm e 20 mm respetivamente

Como conclusão do ensaio o aglomerado apenas cumpre parte do critério da categoria I: não perfura nem fissura após choque de 3 J e 10 J mas perfura com punção de 6 mm. Assim sendo o aglomerado resiste sem problema, sendo satisfatório o seu comportamento a

choques e a perfuração. No entanto refere-se a facilidade com que é possível retirar-se bocadinhos do material e com que as aves também os retiram, existindo uma facilidade em danificar este material.

7.2.3 Medição das juntas entre placas de aglomerado coladas

Este ensaio, tal como o nome indica, consiste na medição das juntas ou alinhamentos verticais e horizontais da ligação das placas de aglomerado na célula.

Para se poder avaliar o comportamento de dilatação ou contração do material ao longo do dia, procedeu-se a várias medições de três em três horas.

Os equipamentos disponibilizados e que devem ser utilizados são o binóculo portátil com uma escala de 0,2 mm e uma escala metálica. O binóculo é mais indicado para juntas de menor dimensão e a escala metálica para as maiores. Na figura 137 facilmente se percebe porquê.

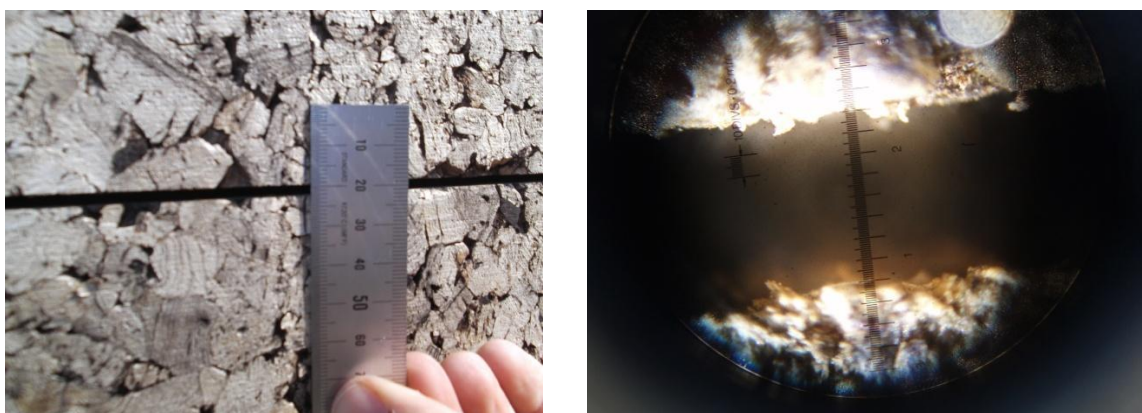


Figura 137 Medição das juntas com escala metálica (esq.) e binóculo portátil (dir.)

Foram realizadas três medições respetivamente às 10 h, 15 h e 18 h e anotadas as dimensões das juntas nas fachadas a sul e a poente por serem, neste período de tempo, as mais sujeitas à exposição solar.

Num ensaio realizado pelo LNEC em 2012, para determinação das variações dimensionais de placas de aglomerado de cortiça expandida, sujeitas a envelhecimento por ciclos de imersão total, congelamento, secagem e arrefecimento, registou-se uma variação dimensional da ordem de 1mm para placas de dimensões nominais dos provetes de 150 mm x 150 mm x 80 mm, 500 mm x 150 mm x 80 mm e 200 mm x 200 mm x 80 mm. Como tal, é expectável que ao longo do dia da medição de juntas, as diferenças não sejam muito acentuadas [39].

Na fachada a sul, exclusivamente com placas sem acabamento, foram marcadas e medidas seis juntas e no quadro 23 indicam-se as medições ao longo do dia naquela fachada.

Quadro 23 Medição diária da largura das juntas na fachada sul

Fachada Sul						
Dias / Horas / Temperatura	Juntas (mm)					
	1	2	3	4	5	6
27-08-2013 / 10 h / 22°C	1,2	1,6	1,4	3,0	1,5	2,5
27-08-2013 / 15h51 / 29°C	1,4	2,0	1,2	3,0	1,8	3,5
27-08-2013 / 17h45 / 28°C	1,6	1,8	1,8	3,5	2,0	3,5
Média	1,4	1,8	1,5	3,2	1,8	3,2

Binóculo Portátil
Escala Metálica

Pelo quadro 23 é possível concluir que as juntas de menor dimensão têm variações muito semelhantes ao longo do dia. As juntas de maior dimensão variam de forma mais acentuada mas ainda assim com valores baixos da ordem dos 0,5 mm a 1,0 mm.

Na fachada a poente com aplicação dos dois vernizes, da tinta branca e do acabamento natural, foram marcadas três juntas no verniz com pigmento mais escuro, quatro no verniz mais claro, cinco na zona da tinta aquosa branca e quatro na zona de aglomerado sem acabamento.

É apresentado no quadro 24 os valores, ao longo do dia, de cada uma das zonas.

Quadro 24 Medição diária a largura das juntas na fachada poente

Fachada Poente					
Aplicação	Juntas (mm)				
	1	2	3	4	5
27-08-2013 / 10h / 22°C					
Natural	1,4	0,8	0,8	2,0	3,5
Verniz Claro	0,7	0,4	0,4	0,3	
Verniz Escuro	1,0	1,5	1,5		
Branco	1,2	0,6	1,2	4,0	5,0
27-08-2013 / 15h51 / 29°C					
Natural	0,8	1,2	1,2	2,5	3,5
Verniz Claro	0,4	0,4	0,6	2,8	
Verniz Escuro	0,9	1,5	1,5		
Branco	1,2	0,8	1,6	5,0	5,5
27-08-2013 / 17h45 / 28°C					
Natural	1,3	1,0	1,0	2,5	3,5
Verniz Claro	0,8	0,6	0,6	2,5	
Verniz Escuro	1,0	2,0	1,5		

Binóculo Portátil
Escala Metálica

É interessante verificar neste quadro que a junta 3 do verniz escuro se mantém constante ao longo do dia, acontecendo o mesmo para a junta 5 do aglomerado de cortiça natural e junta 1 do verniz branco.

As variações das juntas ao longo do dia entre as duas fachadas são muito semelhantes, variando de 0 mm a 1,0 mm.

Conclui-se assim que as variações dimensionais das placas de aglomerado são extremamente reduzidas, com o aumento e diminuição ao longo do dia na ordem dos valores referidos.

7.2.4 Ensaio da reflectância solar

Este ensaio é realizado com um equipamento designado por piranómetro. Este mede a irradiância solar global (em Watt por metro quadrado) em plano horizontal ou vertical e tem a capacidade de medir a radiação na gama visível e na próxima do IV. Os valores obtidos poderão ser superiores devido a essa capacidade.



Figura 138 Piranómetro (à direita)

Foi utilizado nas fachadas da célula experimental e permitiu conhecer a reflectância da radiação solar através das medições da radiação refletida e da radiação incidente (figura 139 e anexo IX).



Figura 139 Medição da radiação refletida (esq.) e da radiação incidente (dir.)

Procedeu-se a uma medição da radiação incidente com o equipamento em contacto com a fachada e a uma segunda medição da radiação refletida a 1 cm da fachada tal como mostra a figura 139. Nesta última medição, poderá haver erros devidos aos ângulos de incidência, por exemplo quando o sol provoca a sombra do piranómetro na fachada, o que pode comprometer os resultados. Com objetivo de minimizar eventuais erros de medição e não comprometer o rigor do ensaio, são sempre realizadas três medições no mesmo local da fachada.

Quando uma fachada se encontra à sombra só existe radiação difusa, pelo que é expectável que os valores que se obtêm de reflectâncias sejam baixos pois as irradiâncias refletidas são baixas por não haver radiação direta e os valores da radiação incidente também são igualmente baixos. Nas fachadas sem sombra ocorre tanto a radiação direta como a radiação difusa (anexo IX).

Uma reflectância elevada em relação à radiação solar significa que a superfície permite a reflexão de uma grande parte da radiação solar incidente, dependendo da emitância da superfície (não possível de medir aquando a realização deste trabalho).

As medições foram feitas no aglomerado de cortiça sem qualquer acabamento das fachadas a nascente e a sul e nos diferentes vernizes da fachada a poente.

No início de cada medição das diferentes fachadas mede-se a radiação horizontal tal como se observa na figura 140.



Figura 140 Medição da radiação horizontal

No quadro 25 encontram-se os resultados deste ensaio.

Quadro 25 Valores médios das reflectâncias ao longo do dia nas diferentes fachadas

	Reflectância					
	Aglomerado F.Nasc	Aglomerado F.Sul	Aglomerado F.Poente	Verniz Pinho*	Verniz Nogueira*	Tinta branca*
10h53	31,36	34,21	24,42	5,02	17,00	42,43
13h54	22,29	28,82	34,35	20,26	38,91	72,50
16h09	17,32	34,54	28,13	5,13	25,00	66,23
Média	23,66	32,53	28,97	10,14	26,97	60,39
	Absorção					
	76,34	67,47	74,34	89,86	73,03	39,61

*vernizes aplicados na fachada a poente

Como seria de esperar, a fachada nascente e sul tiveram na primeira medição o seu maior valor pois o sol incidia mais diretamente sobre elas. Na segunda medição foi a fachada poente que teve o maior valor de reflectância pela mesma razão e curiosamente a fachada sul teve o maior valor na terceira medição. No entanto é possível verificar através do anexo IX que na fachada a poente, na terceira medição, a radiação incidente era elevada e que a refletida também, pelo que se obteve um valor mais baixo face ao esperado, levando a crer que o aglomerado refletia por volta das 16h uma radiação elevada.

Pelo quadro 25, é possível constatar os elevados valores de absorção por parte do aglomerado. Pode ter consequências a nível de conforto térmico caso a libertação do calor que absorve e resistência à transmissão não seja processada de forma rápida e avance até à parede, aquecendo-a demasiado.

Pode-se concluir que os valores obtidos *in situ* de reflectância para o aglomerado são maiores em relação aos obtidos com a esfera integradora e com o luminancímetro do

provete exposto, o que provoca conseqüentemente uma menor absorção de radiação por parte do aglomerado. Há no entanto que ter em conta que as amostras utilizadas em laboratório eram amostras iniciais, pintadas com verniz e que nunca foram expostas a condições exteriores, com exceção do provete da célula, podendo justificar eventuais alterações de valores. Naturalmente que existe uma degradação *in situ* dos vernizes, dado que a sua aplicação tinha sido realizada há cerca de três meses e meio. Para além do referido, a radiação neste ensaio engloba a radiação visível, ultravioleta e infravermelha, o que não acontece nos outros ensaios, e acaba por ser uma radiação mais *forte* para o material do que a estudada com a esfera e com o luminancímetro.

Comparando o quadro 25 com o quadro 19, indicado na secção 7.1.10 chama-se a atenção para alguns valores.

Com o piranómetro obtiveram-se valores, em geral, superiores em relação à esfera e luminancímetro. Para a reflectância no aglomerado, com o piranómetro obteve-se quase o dobro do valor da reflectância face ao valor obtido da esfera e luminancímetro, o que torna possível concluir que a absorção do aglomerado vai diminuindo em condições reais, devido ao maior valor de reflectância. O mesmo acontece para o verniz pinho. A diferença no valor da reflectância é maior no verniz nogueira obtido com o piranómetro: mais do triplo do valor que se obteve na esfera e no luminancímetro. Sendo este verniz mais claro, é o que reflete mais embora *in situ* essa diferença seja bem mais acentuada. Como expectável, a tinta sem primário medida com o piranómetro é a que tem uma reflectância superior e curiosamente foi única que teve um valor inferior ao obtido pela esfera e pelo luminancímetro, inferior em cerca de 30%, que ainda sendo considerável contribui de forma mais gravosa para a absorção por parte do aglomerado.

O piranómetro, como referido anteriormente, tem maiores erros de leitura e os valores obtidos ao longo do dia variam bastante em função do ângulo de incidência (ver no anexo IX).

7.3 Aspetos observados na célula experimental ao longo do tempo

A colocação das placas de aglomerado de cortiça ficou finalizada dia 25 de Julho de 2013.

Eram desde logo visíveis as manchas de tonalidade mais escura que ocorriam em algumas placas como se pode observar na imagem.



Figura 141 Diferentes tonalidades visíveis

Previsível seria logo à partida que estas manchas viriam a notar-se mais à medida que o tempo passasse e a célula estivesse sujeita a altas temperaturas e a um verão com temperaturas extremamente elevadas.

Segundo explicação do processo de fabrico, leitura e pesquisa sobre o assunto, entendeu-se que estas manchas são o resultado da má distribuição em profundidade do duche de água que ocorre ao saírem os blocos de aglomerado da autoclave. Ao saírem a uma temperatura de 400 °C, há pequenas incandescências de madeira que está a arder no interior do bloco. O choque do duche faz com que essas sejam apagadas mas a água pode não entrar em profundidade no bloco e assim sendo as incandescências acabarão por se apagar sozinhas no tempo de estabilização previsto no interior do pavilhão e posteriormente ao ar livre.

O vapor sobreaquecido a aproximadamente 380 °C e que propicia a aglutinação dos grânulos de cortiça na autoclave faz com que a madeira existente na matéria-prima “arda” e carbonize, provocando conseqüentemente a ocorrência de zonas mais escuras no bloco que, ao ser cortado, ficam mais visíveis. Para corrigir este problema dependente da percentagem de madeira existente nos blocos pode haver duas opções: um maior rigor na seleção da matéria-prima, logo no início do processo, evitando grandes quantidades de madeira e a segunda, a utilização de várias agulhas penetrantes que perfurem o bloco e dispersem em água o máximo possível por todo o bloco, em vez de um duche mais superficial que ocorre.

Também a exsudação das resinas e ceras não uniforme à temperatura referida no bloco está na origem de diferentes zonas de cor, textura e rugosidade. Como a matéria-prima tem

diferentes tipos de falca, provenientes de árvores diferentes, não pode ser expectável um bloco homogéneo, com cor igual e aglutinado de igual forma.

Ao longo das semanas e meses foi visível a reação do aglomerado à radiação solar e completamente independente da exposição pois a tonalidade da cor é a mesma por todas as fachadas.



Figura 142 Após 1 e 2 semanas



Figura 143 Após 3 e 4 semanas



Figura 144 Após 5 e 6 semanas



Figura 145 Após 7 e 8 semanas



Figura 146 Após 9 e 10 semanas



Figura 147 Após 11 e 12 semanas



Figura 148 Após 13 e 14 semanas



Figura 149 Após 15 e 16 semanas



Figura 150 Após 17 e 18 semanas



Figura 151 Após 19 e 20 semanas



Figura 152 Após 21 e 22 semanas

Passados praticamente dois meses da colocação das placas, já quase no fim de Agosto, começaram-se a observar manchas com uma tonalidade amarela, bem diferentes das manchas anteriormente mostradas. Tudo leva a crer que com as temperaturas elevadas que se fizeram sentir, houve uma nova exsudação das ceras e resinas traduzidas por estas novas manchas de cor amarela acastanhada. Como se demonstra na imagem, essas manchas de exsudação não aparecem em zonas de manchas com madeira carbonizada.



Figura 153 Manchas de cor amarela acastanhada

Logo após uma semana da sua colocação detetaram-se também faltas de material em várias zonas de placas, o que pode estar relacionado com o debicar das aves vistas junto da célula e no caso de partículas mais leves, transportadas pelo vento.



Figura 154 Ausência de material das placas

Passado quase um mês, foi possível observar também, como expectável, as manchas amareladas na tinta aquosa branca que os técnicos tinham avisado que viriam a aparecer, causadas pela falta de aplicação de primário na fachada a poente tal como mostra a imagem.



Figura 155 Manchas amareladas no verniz branco

À medida que as placas de aglomerado vão ficando mais claras, é mais visível a diferença de textura e rugosidade entre elas, o que faz desta aplicação ainda mais heterogénea a nível visual. Deve-se ao facto das granulometrias utilizadas no fabrico não serem as mesmas e a aglutinação do material após introdução de vapor de água não ser uniforme.



Figura 156 Textura, rugosidade e alteração do alinhamento da placa

Também na figura é possível ver a alteração do alinhamento da placa da esquerda em relação à da direita. Pode ser devido a má colagem, a empenamento inicial da placa ou a variações dimensionais.

Logo após uma semana da aplicação das placas, foi observado que existiam no interior da célula condensações localizadas na janela e na aduela da porta tal como mostra a figura 157.



Figura 157 Condensações na janela e porta

As condições climáticas com tempo muito seco, sem precipitação, fizeram com que se procurasse concluir sobre a proveniência das referidas condensações. Para se saber se havia água no interior das paredes procedeu-se à introdução de um endoscópio nas várias janelas de visita existentes no interior da célula. Não se encontraram vestígios nem gotículas de água.

A razão para ocorrerem estas condensações e do cheiro a humidade (bolor) pode vir do facto da existência anterior à colocação do aglomerado de cortiça como revestimento exterior de poliestireno extrudido colocado em todo o interior da célula, como revestimento e do facto das superfícies do vidro e da aduela da porta estarem a temperaturas inferiores.

Aquando da colocação das placas de aglomerado no seu exterior, aquele foi removido na sua totalidade. A barreira que existia no interior da célula, conferida pelo poliestireno, deixou de existir. A água proveniente das chuvas e a que se poderia infiltrar por capilaridade, chegava ao poliestireno e não podia avançar mais para o interior, ficando na face em contacto diretamente com a parede. O que pode agora ter acontecido é que passou a existir uma barreira na parte exterior. A água que podia existir nas paredes agora tenta sair pelo exterior e não consegue por ter as placas de aglomerado que oferecem uma resistência adicional à difusão do vapor. Logo, com as diferenças de temperatura e humidade, a água tende a vir para o interior da célula e como no exterior está muito calor durante o dia e à noite arrefece, a diferença de temperatura no vidro, mais frio do que no interior da célula, faz ocorrer a condensação de água no seu interior e também na porta.

Há assim humidade no interior da célula, que pode ser minimizada com a ventilação natural, sendo a única hipótese a abertura da porta ao longo do dia, atendendo a que a janela é fixa. A condensação ocorre quando é ultrapassada a quantidade de vapor máxima que o ar pode conter, dependendo do valor de pressão e de temperatura e é visível com a mudança de fase gasosa a líquida da humidade em excesso.

Facto interessante registado foi, aquando da variação do clima no mês de Outubro com chuvas intensas e continuadas, verificou-se ao toque que o aglomerado estava encharcado, podendo mesmo sentir-se uma abundância e excesso de água nos poros. Na semana seguinte, apesar de continuar a chover, houve um dia sem precipitação e com elevadas temperaturas e curiosamente verificou-se, de igual modo ao toque, que o aglomerado estava seco o que induz a capacidade de evaporação rápida deste material, pelo menos ao ar livre.



Figura 158 Célula com chuva (esq.) e célula após esse período (dir.)

É importante referir que os vernizes aplicados na fachada norte e poente tiveram um desempenho relativamente bom. Considerou-se que, tal como seu objetivo, conferiam uma camada protetora face à incidência dos raios solares mas alteraram ligeiramente de cor. Comparando com o aglomerado sem verniz, este último adquiriu uma tonalidade bastante mais clara comparando com o verniz de noqueira que é o mais semelhante. Já o verniz pinho manteve-se com uma tonalidade escura como pretendido, bastante semelhante à inicial, e não houve degradação nem aparecimento de manchas que evidenciassem tonalidades mais claras. Também a tinta branca com a demão de primário se manteve ao longo dos quatro meses de observação em bom estado e a tinta sem primário não teve evolução de manchas. As manchas que apareceram logo passados 2 meses na zona de tinta branca sem primário mantiveram-se e não houve agravamento nem aparecimento noutras zonas, levando a crer que é um fenómeno inicial e que não progride.

Apenas no verniz incolor e como desaconselhado pelos técnicos, houve descascamento e curiosamente a tonalidade ficou mais clara que a tonalidade do aglomerado sem acabamento. Este verniz provavelmente confere uma maior absorção dos raios solares por ser transparente e nos dias de maior incidência provavelmente propiciou uma maior absorção e degradação.



Figura 159 Alteração da cor dos vernizes em 4 meses

Aquando da realização do ensaio em laboratório para obtenção dos espectros do aglomerado, procedeu-se ao corte, como atrás referido, de várias lâminas de aglomerado na célula e constatou-se, tal como mostra a figura abaixo, que a alteração da cor é superficial.



Figura 160 Corte de uma pequena lâmina na célula

Pode-se então concluir que a degradação provocada pela radiação solar é superficial. A espessura da lâmina é de cerca de 1 mm e tanto no tardo da lâmina como na célula reaparece a tonalidade escura do aglomerado tal como nas placas iniciais.

Após quatro meses de aplicação das placas na célula e passados longos períodos de precipitação seguidos de dias de sol, as placas readquiriram uma tonalidade mais escura e surgiram manchas diferentes das manchas de fabrico, mais escuras, e diferentes das manchas de exsudação de ceras e resinas como mostra a figura 161.



Figura 161 Manchas novas

É possível que as manchas sejam resultado da forte precipitação que houve durante esse período e que ainda sejam de placas que, de alguma forma, estejam a secar, não libertando a água tão facilmente. Podem ser placas cuja matéria-prima seja mais densa e ao entrar água, esta não seja tão facilmente evaporada. Só será possível concluir se são ou não manchas definitivas quando chegar o próximo verão e a radiação solar aclarar novamente as placas. Observar-se-á se essas manchas se manterão ou ficarão claras.

Outro facto interessante que se observou foi o aparecimento de pequenos répteis (osgas e lagartixas) na célula por trás dos provetes aparafusados, num dia de sol em Novembro, apesar dos dias anteriores terem sido de temperaturas baixas e de elevada pluviosidade. Tal pode induzir que o calor que o aglomerado absorve e retém, “atrai” aquela espécie.

8

■ Conclusões

O aglomerado de cortiça expandida é o único produto natural que respeita *inteiramente* o ambiente desde o momento da extração até à sua reciclagem. Para a sua obtenção o facto de apenas se necessitar de injeção de vapor de água sobreaquecido e de a forma de alimentar as caldeiras ser com biomassa que neste caso é o pó da própria cortiça, faz com que o seu processo de fabrico não polua de forma tão gravosa o ambiente como os outros materiais/produtos que, para além de dependerem de recursos não renováveis, consomem demasiada energia e originam elevadas emissões de dióxido de carbono.

Como material/produto é indiscutível o “bem” que faz ao ambiente e à Natureza. A contra-argumentar está o elevado custo de mão-de-obra especializada para retirar a cortiça do sobreiro, o tempo necessário para a sua renovação e o preço por m².

A aplicação correta do aglomerado na construção é fundamental para o seu bom desempenho. Quando mal aplicado não se pode esperar esse bom desempenho. Com este estudo foi possível conhecer aspetos que eram desconhecidos anteriormente e mais dúvidas surgiram, pelo que é de extrema importância a continuação de trabalhos de investigação neste domínio.

Ficou claro que a aplicação das placas de aglomerado como revestimento exterior é fácil e rápida mas exigente no respeito por alguns procedimentos que garantem o seu desempenho.

A sua montagem (secção 6.2) deve ter em conta o rigor e os conselhos dados pelas empresas que fabricam o aglomerado e pelas que fornecem as colas/fixações das placas. O encaixe deve ser o de meia espessura, de forma a garantir a melhor colocação e ligação entre placas; o desencontro das juntas fica feito de forma mais rigorosa e as placas têm menor tendência a empenar com aquele tipo de encaixe. Concluiu-se que as placas empenadas que foram colocadas na célula têm encaixe de topo e não há assim nenhuma placa empenada cujo encaixe é o de meia espessura. Na descrição exaustiva da sua montagem, é possível concluir a importância da definição de um plano da disposição das

placas para que as que ficam nos cantos venham cortadas de fábrica, a fim de evitar o corte não rigoroso em obra e a posterior lixagem. É de extrema importância que as placas não fiquem em contacto com o chão para se evitar a ascensão da água por capilaridade (e também salpicos de água *contaminada*) e o acesso direto de insetos. Deve-se evitar ainda a colocação das placas em alturas acessíveis a crianças e, quando se aplica o primário nas placas, estas nunca devem ficar ao sol de forma a não empenarem.

Até à data desconhecem-se obras em que as placas tenham fissurado, sendo a fissuração um dos maiores problemas dos revestimentos exteriores e acabamentos.

Também a cola impermeabilizante aplicada na fachada, no âmbito do presente estudo, se revelou não só impermeável à água como também ao vapor, o que pode não ser aconselhável para uma aplicação no exterior. Poderá efetivamente não deixar passar a água para o interior mas o vapor gerado no interior dos edifícios e compartimentos não terá forma de sair sem estar assegurada uma adequada ventilação (portas e janelas ou outras formas de ventilação natural ou mecânica).

Tanto a cola prego como a cola impermeabilizante comprovaram ser eficazes pois não houve descolamento ou queda/desprendimento de placas ao longo de cinco meses e meio. A cola bi-componente utilizada na fixação de um revestimento adicional de pedras de granito sobre as placas de aglomerado também se mostrou eficaz. Apenas não se recomenda a colagem com cola impermeabilizante na fachada e nas placas, como foi sugerido pela empresa que forneceu as colas. Na verdade, demorava muito tempo a dar-se a ligação entre as duas superfícies e tinha-se que esperar para avançar para a fiada de cima ao contrário da cola prego com a qual tudo se fazia mais rapidamente.

Também foi interessante observar a alteração de cor das placas em apenas três dias (secção 6.2 figura 42). Tal como a madeira, e tendo na sua composição a lenhina, o aglomerado exposto a agentes atmosféricos no exterior, principalmente a radiação ultravioleta, aclara através da ocorrência da degradação da lenhina. Ao retirar-se lâminas de material com 1 a 2 mm das placas aplicadas na célula experimental, comprovou-se que a degradação era muito superficial.

O interesse da aplicação de vernizes com diferentes pigmentos foi, para além de darem outra cor ao aglomerado, perceber como refletiam e absorviam a radiação UV conferindo uma “proteção” ao aglomerado retardando desse modo o efeito da radiação.

Com os ensaios realizados em laboratório foi possível reproduzir alguns mecanismos de degradação que se observam em condições reais e identificar as características mais afetadas, criando relações com as grandezas medidas antes e após os ensaios. Realizaram-se alguns ensaios cujo objetivo era conhecer o comportamento e resposta do

aglomerado nunca verificada nem observada em condições reais, como por exemplo a ação do nevoeiro salino.

Ficou clara a alteração de cor provocada pelas lâmpadas de UV e de xénon (secção 7.1.1 e 7.1.2 respetivamente), sendo mais gravosa a ação da segunda dado abranger uma maior gama de comprimentos de onda e a sua incidência ser concomitante com a aspersão de água (enquanto que o ensaio de UV apenas tinha períodos de condensação).

Com o ensaio de espectroscopia no IV por transformada de Fourier (secção 7.1.3) recorrendo a diferentes métodos, através de amostras de pó e de lâminas de material, foi possível observar que os espectros obtidos com amostras com e sem exposição em condições reais tinham os mesmo picos, embora com valores diferentes no pó, comprovando haver uma degradação (=diminuição) dos constituintes maioritários do aglomerado, por exemplo degradação da lenhina referida anteriormente. No FTIR, apesar de a informação ser qualitativa, os picos e as suas variações indicam alterações dos constituintes e que só por comparação com outros espectros “de referência” seria possível ir mais longe na identificação do que é que mudou no ICB.

Foi possível perceber que a camada de primário aplicada nas placas em obra diminui a permeabilidade ao vapor de água (secção 7.1.4) mas que a cola impermeabilizante à água é também impermeável ao vapor, o que acaba por condicionar as trocas de vapor geradas entre o interior e exterior de um edifício. Os materiais querem-se impermeáveis à água e permeáveis ao vapor de forma a impedir a geração de condensações, bolores e fungos. É importante criar um equilíbrio entre aquelas duas funções/características.

Determinaram-se os valores de condutibilidade térmica (λ) em função do teor de humidade (secção 7.1.5), ao assumir-se que quando o aglomerado está em contacto com o exterior irá absorver água, facto que afeta drasticamente a condutibilidade térmica do material. Se a espessura do aglomerado for considerada para o isolamento térmico da parede, ter-se-á que contabilizar o agravamento causado pela exposição à chuva e a absorção de água (vapor e líquida). Após condicionamento em condições normalizadas 23/50, o valor de λ é de 0,042/0,043 W/m.K; em condições de elevada humidade, como num dia de inverno húmido, aumenta para 0,043/0,044 W/m.K e o maior agravamento ocorre após ter sido imerso: 0,057 W/m.K. Há que ter em conta que estes valores são médios, como mostra o quadro 6 da secção 7.1.5, e que a amostra era pequena, com apenas três provetes. Havendo alguma dispersão nos valores e como é um material pouco homogéneo, não se devem considerar *representativos* do produto. De salientar que quando ocorreu a imersão dos provetes em água durante quatro dias, o aumento de massa foi da ordem de 1100 g (equivalendo a um aumento de cerca de 36%) em relação à massa a 23/50. Comparando

com o valor obtido após a imersão durante quarenta dias, na qual o aglomerado absorveu cerca de 2300 g, somos levados a crer – hipótese já confirmada por um ensaio realizado no LNEC –, que a grande percentagem de absorção de água se dá nas primeiras horas, havendo uma “estabilização” a partir do segundo dia.

Durante o ensaio de durabilidade (secção 7.1.6), a nível visual foi interessante verificar que não ocorreu, nas condições de ensaio, degradação do material; que também devido à heterogeneidade do material houve um inesperado aumento da resistência à tração ao final de 28 dias. Não se pode, todavia, fazer regra de ocorrência por este aumento não fazer sentido. Houve uma diminuição considerável de cerca de 50% do valor da resistência mecânica ao fim de 56 dias – embora não fosse obrigatório ter esta duração para verificar a durabilidade do aglomerado. Para além de se demonstrar que o aglomerado tem “durabilidade” quando sujeito a ciclos agressivos, também a eficiência das colas ficou evidenciada ao realizar-se este ensaio, apontando para que *in situ* se venham a manter ao longo do tempo.

Ainda é de referir que é curioso que no ensaio de envelhecimento acelerado (secção 7.1.7), na fase do choque térmico, após 80 ciclos - que incluem a simulação de calor, chuva e drenagem - os provetes absorveram também 2300 g, embora não tendo sido sujeitos a imersão de água – apenas aspersão – e, apesar da drenagem registada, há uma elevada absorção por parte do aglomerado. Este ensaio, retratando condições a que o aglomerado está exposto em condições reais, demonstrou um facto curioso, nada expectável e anómalo: os valores de resistência à tração aumentaram após imersão de água, quando comparados com os valores iniciais. Também aqui se constata a variabilidade e não homogeneidade do material, devido à dispersão nos resultados e à “incoerência” dos resultados, não podendo novamente fazer regra o que sucedeu.

Um dos ensaios de que não se tinha qualquer referência sobre o desempenho do aglomerado era o do nevoeiro salino (secção 7.1.8). Após a sua realização foi possível concluir que não ocorre cristalização no interior do aglomerado devido à porosidade aberta do material e à inexistência de microporos. Há, no entanto, uma diminuição da resistência à flexão de cerca de 23%, considerada aceitável para este tipo de material, o que sugere que o aglomerado em ambiente salino altera a sua resistência independentemente da não cristalização de sais no interior do aglomerado.

O ensaio de determinação da reflectância (secção 7.1.10) permitiu confirmar que, através dos dois métodos utilizados – esfera integradora e luminancímetro – o acabamento que reflete mais, cerca de 88%, é o que tem o primário com cor branca e como consequência

absorve menos; o acabamento de verniz pinho absorve muita radiação visível, cerca de 95% e, como é óbvio, pouco reflete.

Quanto à classe de reação ao fogo após o ensaio de ignitabilidade e do SBI (secção 7.1.11), apesar de não ter sido tão gravoso quanto era expectável, o aglomerado manteve a classe E. No ensaio de ignitabilidade o resultado permitia considerar a possibilidade de uma classe D, todavia no ensaio SBI não verificou os limites para os parâmetros FIGRA e THR definidos para essa classe.

Os ensaios na célula experimental não são tão rigorosos e controlados como os realizados em laboratório. De forma a complementar o ensaio de determinação da reflectância em laboratório, ficou comprovado que o acabamento com verniz pinho tinha a maior temperatura de superfície. Medida através da termografia, tinha cerca de 40 °C a mais do que a temperatura ambiente.

O aglomerado demonstrou ter um bom comportamento aos choques e a perfurações (secção 7.2.2), tal era já expectável pois é sabido que a sua utilização como isolamento térmico no sistema ETICS confere uma maior resistência a este tipo de agressão. Assim, mesmo ao ser aplicado como camada de acabamento/revestimento, cumpre os requisitos da “melhor” categoria.

Também a abertura de juntas (secção 7.2.3) ao longo de um dia de calor não foi significativa, pelo que apesar de haver contrações e dilatações no material, não são significativas. É de referir que a cola tem-se mantido em boas condições, sem ocorrerem quaisquer quedas de placas com as eventuais variações dimensionais destas.

Por último, o ensaio realizado com o piranómetro com objetivo de obter as reflectâncias *in situ* (secção 7.2.4) revelou maiores valores para praticamente todos os acabamentos e também para as placas sem acabamento, com exceção do acabamento com tinta branca que obteve maiores valores de reflectância com a esfera e luminancímetro. A razão, como referida anteriormente, tem a ver com o facto de o piranómetro ser sensível no infravermelho próximo do visível, o que não acontece com a esfera e luminancímetro e medindo assim valores superiores. Também como *in situ* as cores dos acabamentos estão *mais claras*, obtêm-se logicamente valores de reflectâncias superiores. As condições de incidência e de reflexão locais (*in situ*) podem também ter sido influentes nos resultados obtidos.

Ao longo de cerca de seis meses de observação do aglomerado aplicado na célula, constatou-se a alteração superficial de cor, da textura, da rugosidade e o surgimento de manchas. É um material surpreendente pois quando se espera que possa estar mais claro, ele está mais escuro e vice-versa. Não é possível definir o modo de alteração física das placas pois está diretamente ligado com as condições atmosféricas e climatéricas onde está

aplicado. É curioso observar que transmite uma *sensação de conforto* a quem está perto dele, tanto a pessoas como a animais.

As aves e o vento provocam desagregação do material mais leve, a qual embora incomodativa a nível estético, não afeta diretamente o desempenho do material porque é uma degradação muito superficial.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, apesar do período de observação ser limitado (cerca de 6 meses), observou-se ainda na célula experimental que os vernizes se mantiveram em excelentes condições e sofreram períodos de muito calor, frio e chuva. Muitas manchas de diferentes tonalidades surgiram para além das manchas do processo de fabrico referido, levando a crer que há mudanças a nível da composição e que de alguma forma o aglomerado “exsuda” ceras e fica acinzentado com a chuva. Comprovou-se ainda que o *desgaste* da cor das placas é superficial e que basta a remoção de uma fina camada de material para se obter a cor inicial.

Em síntese:

- ✓ O aglomerado de cortiça expandida é um produto com características de revestimento exterior e isolante térmico de fachadas de edifícios a que acresce as qualidades de produto natural, ecológico e de interesse económico nacional;
- ✓ É uma solução inovadora que importa conhecer e quantificar o seu desempenho, identificando aspetos que podem ser melhorados, nomeadamente: alteração de cor, tipo de manchas, diferenciação das granulometrias, rigor na colocação das placas em obra e o desempenho ao fogo;
- ✓ O valor da condutibilidade térmica aparente em condições habituais de referência apresenta valores interessantes e competitivos ($\lambda_a < 0.045 \text{ W/m.K}$), reconhecendo-se a influência negativa da absorção e retenção de água no produto;
- ✓ Avaliou-se a durabilidade da solução com ensaios de envelhecimento artificial acelerado correntemente aplicados a outras soluções expostas à ação direta dos agentes climáticos (temperatura, precipitação, gelo), não se tendo registado degradações aparentes ou perdas significativas da ligação inter-granular do aglomerado;
- ✓ A alteração da coloração superficial sob a ação da radiação solar foi observada em exposição natural e estudada em laboratório com diferentes métodos (QUV e xénon);
- ✓ Ficou reconhecido o carácter cíclico das alterações em exposição natural (tonalidade mais clara no verão e mais escura no inverno);
- ✓ O aglomerado é resistente a impactos e perfurações e é resiliente a impactos, adquirindo rapidamente a forma inicial;

- ✓ A limitação da classe de desempenho ao fogo do aglomerado – classe E, devida à elevada taxa de libertação de calor, e quando comparada com materiais desta classe que derretem ou desaparecem, tem um comportamento melhor ao carbonizar.

Para o desenvolvimento de futuros trabalhos, parece importante:

- Estudar a composição estrutural quantitativa do aglomerado em pó, inicial e exposto, e também de lâminas;
- Aprofundar o conhecimento das variações de massa após a “estabilização” do aglomerado em estufa ou em câmara condicionada;
- Saber mais sobre as variações de resistência mecânica em ensaios de envelhecimento acelerado e de durabilidade (utilizando um maior número de provetes);
- Realizar o estudo da absorção de água de provetes de aglomerado imersos e pesados em diferentes intervalos de tempo de forma a perceber como se processa aquele fenómeno e quando poderá ocorrer a sua *estabilização*;
- Realizar o ensaio de difusão ao vapor de água, para no caso de existir água ou vapor entre o aglomerado e a parede, perceber-se como se processa a sua difusão pelo agregado quando em contacto com diferentes ambientes/temperaturas;
- Realizar o ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de fungos e podridões, inicialmente pensado neste trabalho, que não foi de possível execução;
- Realizar ensaios na célula do LNEC, nomeadamente, para se obter informações mais conclusivas sobre teores de água e como se processa a circulação de vapor e água quando em ambientes quentes no interior da célula;
- Finalmente, seria interessante desenvolver um processo/solução que melhorasse o comportamento ao fogo do aglomerado, mesmo que deixasse de ser um material 100 % natural, para a sua aplicação no exterior. Poderia ser, por exemplo, a utilização de um impregnante de base aquosa ou de alguma forma pouco poluente e que melhorasse assim a classe ao fogo.

9

■ Bibliografia

- [1]GIL, L. **Cortiça Da árvore aos produtos finais**. Lisboa: Edição PELCOR, 2004.
- [2]OLIVEIRA SANTOS, C. **O livro da cortiça**. Lisboa: Edição Carlos Oliveira Santos, 2000.
- [3]NETO, V. **Aplicações modernas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) na construção**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2012.
- [4]SALVADOR, S. **Inovação de produtos ecológicos em cortiça**. Instituto Superior Técnico, 2001.
- [5]Laboratório de Estudo e Ensaio da Cortiça, **Aglomerado negro de cortiça tipo térmico: Variação das dimensões em função da humidade relativa ambiente e do tempo**, Lisboa: Instituto dos Produtos Florestais, s.d.
- [6]PINA DOS SANTOS, C.; MATIAS, L. **Ensaio pré-normativos de determinação das principais características de placas de aglomerado de cortiça expandida: Ensaio realizados no LNEC/LEPC**, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1998.
- [7]MATIAS, L.; PINA DOS SANTOS, C.; REIS, M.; GIL, L. **Ensaio interlaboratoriais de determinação da condutibilidade térmica de placas de aglomerado negro de cortiça**, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Centro Tecnológico da cortiça – Unidade Sul e Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 1994.
- [8]Laboratório de Estudo e Ensaio da Cortiça, **A influência da massa volúmica do aglomerado negro de cortiça na sua condutibilidade térmica**, Lisboa: Instituto dos Produtos Florestais, 1974.
- [9]MATEUS, T. **Informação sobre conservação de aglomerados de madeira e de cortiça**, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1967.
- [10]EN 13170 (2012) **Thermal insulation products for buildings – Factory made products of expanded cork (ICB) – Specification**. CEN.
- [11]ETAG 004 (2011) **External Thermal Insulation Composite Systems with rendering**. EOTA.
- [12]PINA DOS SANTOS, C. **Materiais granulares leves no isolamento térmico de edifícios – Estudo experimental da sua viabilidade e desempenho**. Instituto Superior Técnico, 1993.
- [13]FRANCO, E. **Ensaio de resistência de placas de aglomerado negro decortiça ao ataque da térmita *Reticulitermes lucifugus***, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1963.
- [14]Catálogo da ISOCOR – Aglomerados de cortiça A.C.E. **Isolamento perfeito em qualquer ambiente**, Lisboa.
- [15]GIL, L. **Cortiça Produção, Tecnologia e Aplicação**. Lisboa: Edição INETI, 2006.
- [16]ROSENBOM, K.; GARCIA, J. **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior - ETICS**, Lisboa: 3º ENCORE Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003.

- [17]Laboratório de Estudo e Ensaio da Cortiça, **Deformação do aglomerado negro de cortiça tipo térmico sob pressão constante**, Lisboa: Instituto dos Produtos Florestais, 1974.
- [18]NP EN ISO 11507 (2011) **Tintas e vernizes – Envelhecimento artificial de revestimentos por pintura, Exposição à radiação UV fluorescente e à água**. IPQ.
- [19]NP EN ISO 11341 (2009) **Tintas e vernizes – Envelhecimento acelerado e exposição à radiação artificial, Exposição à radiação de arco de xénon filtrada**. IPQ.
- [20]EN 12086 (2013) **Thermal insulation products for building applications – Determination of water vapour transmission properties**. CEN.
- [21] EN 12667 (2013) **Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Products of high and medium thermal resistance**. CEN.
- [22]EN ISO 10456 (2007) **Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values**. CEN.
- [23]MATIAS, L. **Estudo da influência da humidade na determinação da condutibilidade térmica aparente de materiais porosos**, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994.
- [24]EN 14509 (2006) **Self-supporting double skin metal faced insulating panels – Factory made products – Specifications**. CEN.
- [25] ETAG 016 (2003) **Self-supporting Composite Lightweight Panels. Part 1 – General**. EOTA.
- [26]ETAG 016 (2005) **Self-supporting Composite Lightweight Panels. Part 3 – Specific aspects relating to Self-supporting Composite Lightweight Panels for use in external walls and claddings rendering**. EOTA.
- [27]EN 1607 (2013) **Thermal insulating products for building applications – Determination of tensile strength perpendicular to faces**. CEN.
- [28]ETAG 031 (2010) **Inverted Roof Insulation Kits. Part 2 – General**. EOTA.
- [29]NP EN 14147 (2007) **Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino**. IPQ.
- [30]CARVALHO DA CRUZ, C. **Comportamento e durabilidade de telhas cerâmicas em ambiente marítimo**. Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Civil, 2010.
- [31]FONSECA, B. **Influência do nevoeiro salino na degradação de materiais cerâmicos aplicados em construções**. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.
- [32]EN 12089 (2013) **Thermal insulation products for buildings applications – Determination of bending behaviour (method B)**. CEN.
- [33]MATIAS, L. **Avaliação do desempenho térmico de protecções reflectantes aplicadas em coberturas inclinadas**. Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências, 2001.
- [34]PINA DOS SANTOS, C. **A classificação europeia de reacção ao fogo dos produtos de construção**, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010.
- [35]EN ISO 11925 - 2 (2011) **Reaction to fire tests – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame. Part 2 – Single flame source test**. ISO.
- [36]EN 13823 (2010) **Reaction to fire tests for building products – Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item**. CEN.

[37]HENRIQUES, F. **Comportamento higrotérmico de edifícios**. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007.

[38]**Regras para a concessão de uma aprovação técnica europeia (ETA) de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)** – Relatório 1/2010 NRI/DED.

[39]**Provetes de aglomerado de cortiça expandida de alta densidade (HD 9/10 REV) – Determinação das variações dimensionais após exposição a condições cíclicas de humidade e temperatura**. LNEC, Lisboa: 2012.

Bibliografia complementar

RIBEIRO DOS SANTOS, S. **Composição da suberina na cortiça virgem e na cortiça amadia**. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto de Agronomia, 2003

CENTRO TECNOLÓGICO DA CORTIÇA, **Indústria da cortiça: Manual de prevenção**, Lisboa: Instituto de Desenvolvimento e Inspeção das Condições de Trabalho, 2001.

GIL, L.; BICHO, M., **Cortiça Guia Normativo**, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 1999.

HON, D.; SHIRAISHI, N. **Wood and Cellulosic Chemistry**. New York: MARCEL DEKKER, 1991.

SILVA, C., **Porque é que devemos utilizar a cortiça na construção – Inovação na Construção Sustentável**, Tamengos: Plataforma para a Construção Sustentável, 2012.

MARREIROS, N.; GIL, L.; CORTIÇO, P. **Vantagens da cortiça na construção sustentável – Inovação na Construção Sustentável**, Tamengos: Plataforma para a Construção Sustentável, 2010.

CHIEBAO, F. **Cortiça e Arquitetura**. Lisboa: Edição Euronatura, 2011.

Seminário sobre Regulamento dos Produtos de Construção: Novas exigências para a marcação CE.

CRUZ, H.; NUNES, L. **A madeira como material de construção**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Núcleo de Estruturas de Madeira.

PINA DOS SANTOS, C.; MATIAS, L. **Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil Lisboa, 2006.

Agro.Ges – Sociedade de Estudos e Projectos, Lda. **O sobreiro e a cortiça – Um património universal uma herança a preservar**. Lisboa: Edição Direcção Geral de desenvolvimento Rural, 2000.

SILVA, J. **Os montados – Muito para além das árvores**, Lisboa: Edição Público Comunicação Social SA – Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007.

FORTES, M.; ROSA, M., PEREIRA, H., **A cortiça**, Lisboa: Edição IST Press, 2004.

CHIEBAO, F., **Cortiça e Arquitectura**, Lisboa: Edição Euronatura, 2011.

ANDRADE, A. **Isolamentos térmicos e acústicos: noções fundamentais**, Lisboa: ISOLA – Sociedade Comercial de Aglomerados de Cortiça, 1962.

EN 826 (2013) **Thermal insulation products for building applications – Determination of compression behaviour**, CEN.

Webgrafia

http://www.apcor.pt/userfiles/File/Publicacoes/Manual_MCD_PT.pdf

<http://apcor.pt/artigo/236.htm>

<http://apcor.pt/artigo/331.htm>

<http://apcor.pt/userfiles/File/Caderno%20Tecnico%20F%20PT.pdf>

<http://www.construcaomagazine.pt/scid/webCM/defaultArticleViewOne.asp?articleID=1141&categoryID=780>

<http://www.isocor.pt/aplicacoes/>

http://www.sofalca.pt/SOFALCA_port/index1.htm

http://www.amorim.com/cor_glob_cortica.php

<http://www.ctcor.com/>

http://www.celiege.com/Ingles/frames/celiege_cork.htm

http://planetacad.com/presentationlayer/Concelhoutil_01.aspx?id=66&canal_ordem=0302

<http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Agricultura-e-Floresta/content/Cortica-do-montado-a-rolha?bl=1&viewall=true>

<http://corticeiracardoso.com/site/produtos.php?menuId=produtos&id=4>

http://www.preceram.pt/documentos/imprensa/2012_11_CorkConference.pdf

<http://www.3dcork.com/index.php?op=Nq==>

<http://www.slideshare.net/splrocha/a-cortia>

<http://www.slideshare.net/construcaosustentavel/06-paulo-bessa-amorim-25-mar-2010-ics-3663636>

<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/ctm/v20n3-4/v20n3-4a09.pdf>

http://ecocasa.pt/userfiles/file/AGLOMERADO_CORTICA.pdf

http://www.spq.pt/boletim/docs/BoletimSPQ_088_037_09.pdf

http://www.Inec.pt/qpe/dh/DH_924_net.pdf

http://www.Inec.pt/qpe/eta/ETA_11004_pt.pdf

<http://engenhariacivil.wordpress.com/2007/05/21/sistema-capotto-etics/>

<http://www.pavilhaocentroportugal.net/Inicio/Pavilh%C3%A3oCentredePortugal.aspx>

<http://www.Inec.pt/servicos/ensaios/isolantes>

http://www.Inec.pt/qpe/dh/RELATORIO_ETICS_DEZ_2010.pdf

<http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2012/nj/c2nj40433h>

<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/nj/c2nj40433h#!divAbstract>

<http://www.bcork.amorim.com/pt/reference>

<http://www.unac.pt/MONTADOS-e-CORTI%C3%87A/>

<http://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie.mapa/>

<http://institutoecoacao.blogspot.pt/2013/07/primeiro-hotel-do-mundo-revestido.html?m=1>

http://www.quintadoportal.com/pt/quinta_do_portal/o_armazem/arm_envelhecimento/detalhes?menuitem=0

<http://www.gop.pt/projecto-detalle.php?projecto=231&catProj=12&ordem=3>

http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lise_do_ciclo_de_vida

<http://www.yumpu.com/pt/document/view/12841605/medicoes-de-refletancia-luminosa-total-direta-e-difusa-em-limc>

<http://arquitecturafotos.blogspot.pt/2013/02/pavilhao-de-portugal-exposicao-de.html>

<http://www.publico.pt/local/noticia/pavilhao-de-exposicoes-de-pacos-de-ferreira-e-o-maior-edificio-portuques-revestido-a-cortica-1560767>

<http://p3.publico.pt/cultura/design/6532/sauna-em-cortica-calor-e-um-toque-de-veludo>

<http://p3.publico.pt/cultura/design/4794/arquitectura-e-o-design-estao-reinventar-cortica-portuguesa>

<http://p3.publico.pt/cultura/design/2665/portugueses-vencem-premio-internacional-de-interiores-aeronauticos>

<http://p3.publico.pt/actualidade/desporto/2607/na-crista-da-onda-com-cortica>

<http://p3.publico.pt/category/free-tags/corti%C3%A7a>

<http://www.ipv.pt/cortica-em-debate>

<http://www.adene.pt/pt-pt/Eventos/Documents/03ConferenciaEdificiosSustentaveisemCidadesEficient.pdf>

<http://www.aveirodomus.pt/resources/xFiles/scContentDeployer/docs/Doc266.pdf>

http://www.marcaspatentes.pt/files/collections/pt_PT/1/8/65/Vol.%20III%20-%20Estudo%20da%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20PI%20no%20Sector%20da%20Corti%C3%A7a.pdf

<http://www.dep.uminho.pt/mcpaiva/pdfs/CCP/0607F07.pdf>

ANEXOS

ANEXO I

Ensaio de exposição à radiação UV e à radiação de arco de xénon filtrada

Para se poder determinar a alteração de cor, utilizando o espectro fotocromático, procede-se à realização de três medições pré-definidas nos provetes a medir a cor.

O ΔE é o parâmetro que resulta do produto de três coordenadas do sistema CIELAB¹.

A primeira coordenada L^* representa a luminosidade e se for nula é porque tem a cor preta e se for igual a 100 é branco.

A segunda coordenada a^* define a posição entre o vermelho e o verde: se for negativa indica verde, se for positiva indica vermelho/magenta.

Por último a coordenada b^* traduz a posição entre o amarelo e o azul sendo que quando é positiva está próxima do amarelo e quando negativa do azul.

Assim, se a amostra tiver uma ΔL^* elevada significa que se tornou mais clara, se tem uma Δa^* positiva é porque se tornou vermelha e se tem um Δb^* é porque se tornou mais amarela.

A diferença total de cor ΔE^* no diagrama designado por CIELAB pode ser representada por um único valor ΔE^* o qual se obtém pela expressão:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Quando ΔE aumenta é porque a diferença de cor é mais acentuada com o aumento de qualquer uma das coordenadas, com o aumento ou diminuição simultâneo de cada, etc.

¹ CIELAB – *Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão Internacional da Iluminação)* LAB (sistema de coordenadas L, a, b)

Resultados do ensaio QUV:

Quadro A

Nome	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	X	Y	Z
cortiça 15*8, macia, junto ao parafuso - Padrão	27,56	3,61	7,5	8,32	64,27	5,31 5	5,29 4	4,14 4
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cm} c	P/F ΔE_{cmc}	L^*	a^*	b^*
cortiça 15*8, macia, junto ao parafuso	0.12 Cl	0.06 Vm	0.22 Am	0,23	Aprovado	27,6 8	3,67	7,72
cortiça 15*8, macia 48h QUV	1.28 Cl	0.40 Vm	1.10 Am	1,36	Reprova do	28,8 4	4,01	8,6
cortiça 15*8, macia 69h QUV	1.75 Cl	0.50 Vm	1.42 Am	1,79	Reprova do	29,3 1	4,11	8,91
cortiça 15*8, macia, 152h QUV	4.17 Cl	0.99 Vm	2.75 Am	3,81	Reprova do	31,7 2	4,61	10,2 4
cortiça 15*8, macia 229h QUV	5.94 Cl	0.77 Vm	2.35 Am	4,51	Reprova do	33,4 9	4,38	9,84
cortiça 15*8, macia 343h QUV	6.49 Cl	1.02 Vm	2.72 Am	5,02	Reprova do	34,0 5	4,63	10,2 2

Quadro B

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça 15*8, rugosa, junto ao UP - Padrão	26,31	3,25	6,57	7,33	63,68	4,84 9	4,85 1	3,92 2
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cm} c	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça 15*8, rugosa, junto ao UP	-0.53 Es	-0.04 Vd	-0.10 Az	0,38	Aprovado	25,7 7	3,21	6,47
cortiça 15*8, rugosa 48h QUV	0,01	0.16 Vm	0.45 Am	0,46	Aprovado	26,3 1	3,41	7,02
cortiça 15*8, rugosa 69h QUV	0.45 Cl	0.33 Vm	0.86 Am	0,92	Margem	26,7 6	3,58	7,43
cortiça 15*8, rugosa, 152h QUV	1.59 Cl	0.88 Vm	1.95 Am	2,29	Reprovado	27,9	4,13	8,52
cortiça 15*8, rugosa 229h QUV	2.67 Cl	0.82 Vm	1.68 Am	2,53	Reprovado	28,9 8	4,07	8,25
cortiça 15*8, rugosa 343h QUV	3.27 Cl	1.06 Vm	1.94 Am	3,04	Reprovado	29,5 7	4,31	8,51

Quadro C

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça 30*8, rugosa - Padrão	26,43	3,38	6,83	7,62	63,67	4,902	4,894	3,913
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cmc}	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça 30*8, rugosa	0.17 Cl	0.04 Vm	0.14 Am	0,18	Aprovado	26,6	3,42	6,98
cortiça 30*8, rugosa 48h QUV	0.82 Cl	0.31 Vm	0.86 Am	1,02	Reprovado	27,25	3,69	7,7
cortiça 30*8, rugosa 69h QUV	1.42 Cl	0.46 Vm	1.25 Am	1,57	Reprovado	27,85	3,84	8,08
cortiça 30*8, rugosa 159h QUV	2.91 Cl	1.10 Vm	2.53 Am	3,23	Reprovado	29,34	4,48	9,36
cortiça 30*8, rugosa 229h QUV	3.28 Cl	1.06 Vm	2.15 Am	3,14	Reprovado	29,72	4,44	8,98
cortiça 30*8, rugosa 343h QUV	4.26 Cl	1.28 Vm	2.32 Am	3,79	Reprovado	30,69	4,66	9,16

Quadro D

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça 30*8, macia (duas pontas irregulares) - Padrão	27,23	3,53	7,48	8,27	64,7	5,19	5,17 4	4,04 3
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cm} mc	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça 30*8, macia	0.23 Cl	0.10 Vm	0.50 Am	0,52	Aprovado	27,4 6	3,63	7,98
cortiça 30*8, macia 48h QUV	0.95 Cl	0.29 Vm	1.03 Am	1,17	Reprovado	28,1 7	3,82	8,5
cortiça 30*8, macia 69h QUV	1.76 Cl	0.50 Vm	1.60 Am	1,93	Reprovado	28,9 9	4,04	9,08
cortiça 30*8, macia, 152h QUV	3.40 Cl	0.93 Vm	2.74 Am	3,46	Reprovado	30,6 2	4,47	10,2 2
cortiça 30*8, macia, 152h QUV	3.77 Cl	0.98 Vm	2.89 Am	3,73	Reprovado	31	4,51	10,3 6
cortiça 30*8, macia 229h QUV	4.61 Cl	1.07 Vm	2.90 Am	4,15	Reprovado	31,8 4	4,6	10,3 8
cortiça 30*8, macia 343h QUV	4.72 Cl	1.25 Vm	2.86 Am	4,2	Reprovado	31,9 5	4,78	10,3 4

Quadro E

Nome Fachada Norte	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça com mancha branca - Padrão	26,52	4,12	8,48	9,43	64,06	4,99 3	4,92 6	3,65 6
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cm} c	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça com mancha branca 1 mês	7.93 CI	0.93 Vm	4.68 Am	6,9	Reprovado	34,4 5	5,06	13,1 6
cortiça com mancha branca, 2º mês_2	13.40 CI	0.89 Vm	5.70 Am	10,51	Reprovado	39,9 2	5,02	14,1 8
cortiça com mancha branca, 3º mês	17.55 CI	0.39 Vm	5.33 Am	12,94	Reprovado	44,0 8	4,52	13,8 1

Quadro F

Nome Fachada Sul	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça estrela - Padrão	26,91	3,93	8,41	9,29	64,96	5,111	5,061	3,78
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cmc}	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça estrela 1 mês	11.67 CI	0.61 Vm	4.32 Am	8,81	Reprovado	38,58	4,54	12,74
cortiça estrela, 2º mês	16.12 CI	0.08 Vm	4.45 Am	11,67	Reprovado	43,03	4,01	12,86
cortiça estrela 3º mês	21.91 CI	-0.33 Vd	4.82 Am	15,51	Reprovado	48,82	3,6	13,24

Quadro G

Nome – Fachada Poente	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça gorducho lado esq - Padrão	26,8	4,11	8,13	9,11	63,15	5,08 8	5,02 3	3,79 8
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cm} c	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça gorducho lado esq 1 mês	13.93 CI	1.03 Vm	5.90 Am	10,9	Reprovado	40,7 3	5,15	14,0 3
cortiça gorducho lad esq, 2º mês	20.42 CI	0.63 Vm	6.47 Am	15,07	Reprovado	47,2 2	4,75	14,6
cortiça gorducho lad esq, 3º mês	24.95 CI	0.05 Vm	6.04 Am	17,84	Reprovado	51,7 5	4,17	14,1 7

Quadro H

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
cortiça carvão no topo - Padrão	29,03	3,83	8,26	9,11	65,1	5,882	5,85	4,48
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cmc}	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
cortiça carvão no topo 1 mês	12.14 CI	1.07 Vm	6.04 Am	9,54	Reprovado	41,17	4,9	14,3
cortiça carvão no topo, 2º mês	17.18 CI	0.76 Vm	6.02 Am	12,31	Reprovado	46,21	4,6	14,28
cortiça carvão no topo 3 meses	22.77 CI	-0,01	5.00 Am	15,33	Reprovado	51,8	3,82	13,26

Resultados do ensaio da lâmpada de xénon:

Quadro A

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
Amostra 1 Xénon (3 buracos) - Padrão	27,71	3,64	7,66	8,48	64,58	5,37 3	5,35 1	4,16 2
Nome	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{cm} c	P/F ΔE_{cmc}	L*	a*	b*
Amostra 1 Xénon (3 buracos) 48h	11.03 CI	0.92 Vm	4.17 Am	8,25	Reprovado	38,7 4	4,56	11,8 4

Amostra 1 Xénon (3 buracos) 167h	20.43 Cl	-1.02 Vd	3.10 Am	14,02	Reprovado	48,1 4	2,63	10,7 6
Amostra 1 Xénon (3 buracos) 259h	27.11 Cl	-1.44 Vd	1.94 Am	18,15	Reprovado	54,8 2	2,2	9,6
Amostra 1 Xénon (3 buracos) 408h	18.75 Cl	0.25 Vm	7.00 Am	14,13	Reprovado	46,4 6	3,89	14,6 6
Amostra 1 Xénon (3 buracos) 499h	14.58 Cl	1.25 Vm	7.38 Am	11,86	Reprovado	42,2 9	4,9	15,0 5

Quadro B

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
Amostra 2 Xénon (madeira redonda com buraco) - Padrão	27,76	3,48	7,29	8,08	64,51	5,37 5	5,36 7	4,24 5
Nome	DL*	Da*	Db*	DEcm mc	P/F DEcmc	L*	a*	b*
Amostra 2 Xénon (madeira redonda com buraco) 48h	8.98 Cl	0.73 Vm	3.53 Am	6,81	Reprova do	36,7 3	4,2	10,8 2
Amostra 2 Xénon (madeira redonda com buraco) 167h	19.17 Cl	-0.91 Vd	2.38 Am	13	Reprova do	46,9 3	2,57	9,67
Amostra 2 Xénon (madeira redonda com buraco) 259h	26.81 Cl	-1.52 Vd	1.82 Am	17,94	Reprova do	54,5 6	1,96	9,11
Amostra 2 Xénon (madeira redonda com buraco) 408h	17.13 Cl	0.50 Vm	6.54 Am	12,96	Reprova do	44,8 8	3,97	13,8 3
Amostra 2 Xénon (madeira redonda com buraco) 499h	11.18 Cl	1.05 Vm	6.18 Am	9,46	Reprova do	38,9 3	4,53	13,4 8

Quadro C

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
Amostra 3 Xénon (canto danificado) - Padrão	27,46	3,35	7,12	7,87	64,8	5,25 7	5,25 7	4,18 1
Nome	DL*	Da*	Db*	DEcm c	P/F DEcmc	L*	a*	b*
Amostra 3 Xénon (canto danificado) 48h	10.89 Cl	0.76 Vm	3.89 Am	8,13	Reprova do	38,3 4	4,11	11,0 1
Amostra 3 Xénon (canto danificado) 167h	22.91 Cl	-0.54 Vd	3.56 Am	15,67	Reprova do	50,3 7	2,81	10,6 8
Amostra 3 Xénon (canto danificado) 259h	24.97 Cl	-1.51 Vd	1.89 Am	16,88	Reprova do	52,4 3	1,85	9,01
Amostra 3 Xénon (canto danificado) 408h	15.60 Cl	0.12 Vm	4.70 Am	11,37	Reprova do	43,0 5	3,47	11,8 2
Amostra 3 Xénon (canto danificado) 499h	7.70 Cl	1.62 Vm	7.13 Am	8,56	Reprova do	35,1 6	4,98	14,2 5

Quadro D

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
Amostra 4 Xénon (buraco considerável) - Padrão	27,43	3,51	7,57	8,34	65,1	5,26	5,24 7	4,09
Nome	DL*	Da*	Db*	DEcm c	P/F DEcmc	L*	a*	b*
Amostra 4 Xénon (buraco considerável) 48h	10.57 Cl	1.08 Vm	4.29 Am	8,08	Reprova do	37,9 9	4,59	11,8 6
Amostra 4 Xénon (buraco considerável) 167h	20.27 Cl	-1.16 Vd	2.41 Am	13,88	Reprova do	47,7	2,35	9,97
Amostra 4 Xénon (buraco considerável) 259h	22.86 Cl	-1.17 Vd	2.35 Am	15,52	Reprova do	50,2 8	2,34	9,91
Amostra 4 Xénon (buraco considerável) 408h	15.57 Cl	-0,01	4.67 Am	11,35	Reprova do	43	3,5	12,2 4
Amostra 4 Xénon (buraco considerável) 499h	10.73 Cl	1.84 Vm	6.84 Am	9,6	Reprova do	38,1 5	5,35	14,4 1

Quadro E

Nome	L*	a*	b*	C*	h°	X	Y	Z
Amostra 5 Xénon (madeira oval) - Padrão	27,17	3,53	7,53	8,32	64,85	5,17 1	5,15 4	4,01 7
Nome	DL*	Da*	Db*	DEcm c	P/F DEcmc	L*	a*	b*
Amostra 5 Xénon (madeira oval) 48h	11.54 Cl	0.66 Vm	4.15 Am	8,66	Reprovado	38,7 1	4,19	11,6 7
Amostra 5 Xénon (madeira oval) 167h	23.96 Cl	-0.88 Vd	3.03 Am	16,39	Reprovado	51,1 3	2,65	10,5 5
Amostra 5 Xénon (madeira oval) 259h	27.72 Cl	-1.68 Vd	2.43 Am	18,93	Reprovado	54,8 9	1,85	9,96
Amostra 5 Xénon (madeira oval) 408h	20.99 Cl	0.34 Vm	7.69 Am	15,89	Reprovado	48,1 6	3,88	15,2 1
Amostra 5 Xénon (madeira oval) 499h	11.39 Cl	1.68 Vm	7.05 Am	10,1	Reprovado	38,5 6	5,22	14,5 7

De notar a semelhança que existe nas amostras padrão em ambos os ensaios (UV e xénon).

ANEXO II

Ensaio da permeabilidade ao vapor de água

Amostra inicial só com aglomerado

Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
1	239,9	240,3	80,55	80,60	0,0380	534,830	147,9
			80,58	80,60			
	238,5	238,9	80,49	80,50			
			80,48	80,50			
	239,1	239,1	80,24	80,20			
			80,45	80,50			
Média	239,3		--	80,4	0,0380	534,830	147,9
2	239,4	240,6	80,16	80,20	0,0380	537,660	148,8
			80,29	80,30			
	238,5	239,0	80,20	80,20			
			80,43	80,40			
	240,2	239,3	80,35	80,40			
			79,72	79,70			
Média	239,5		--	80,2	0,0380	537,660	148,8
3	239,3	240,1	80,39	80,40	0,0380	564,750	155,4
			80,55	80,60			
	240,1	239,6	80,77	80,80			
			80,52	80,50			
	238,1	240,3	80,38	80,40			
			80,36	80,40			
Média	239,6		--	80,6	0,0380	564,750	155,4
Val. Méd	---		---	---	---	---	151

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosférica, p (hPa)	Intervalo de tempo t ₂ - t ₁ (h)	Provete					
			1		2		3	
			massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)
9-7-13 10:50	1016,3	0,000	1679,90	0,00000	1736,26	0,00000	1684,63	0,00000
10-7-13 10:02	1013,8	23,200	1679,92	-0,00086	1736,19	0,00302	1684,44	0,00819
11-7-13 11:31	1012,4	25,483	1680,03	-0,00432	1736,37	-0,00706	1684,58	-0,00549
12-7-13 10:41	1015,3	23,167	1680,16	-0,00561	1736,43	0,00259	1684,69	-0,00475
15-7-13 11:11	1020,2	72,500	1680,67	-0,00703	1737,13	0,00966	1685,21	-0,00717

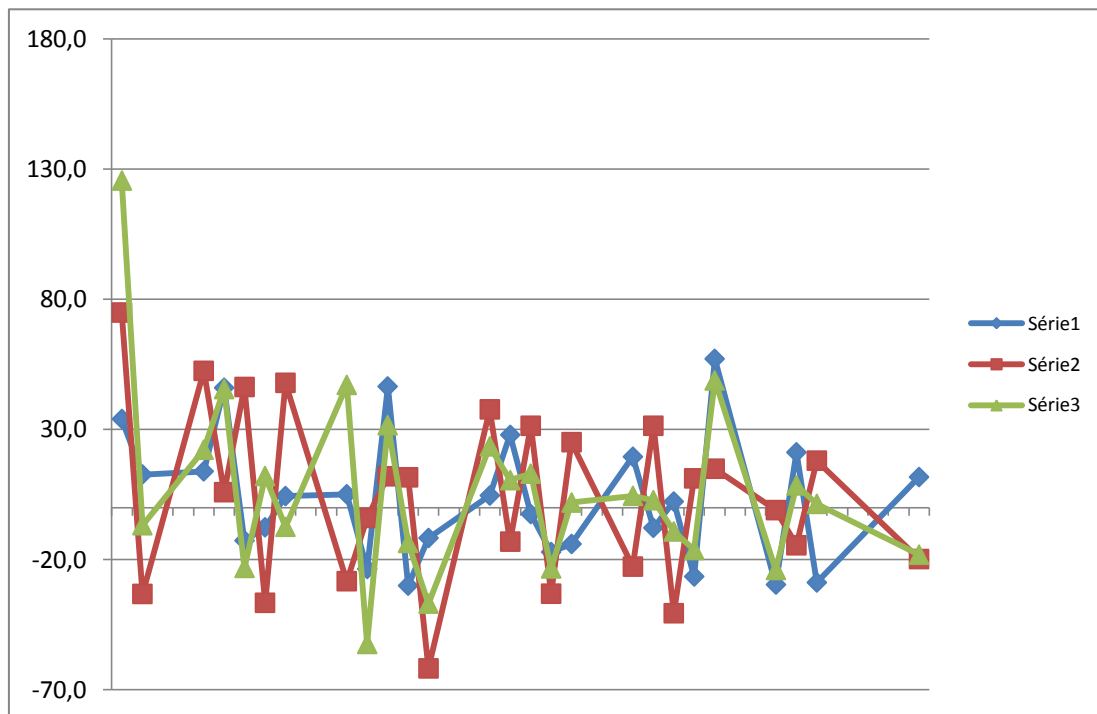
16-7-13 11:05	1020,6	23,900	1680,95	-0,01172	1737,38	-	1685,50	-0,01213
17-7-13 11:03	1018,7	23,967	1681,20	-0,01043	1737,78	0,01669	1685,73	-0,00960
18-7-13 10:52	1017,9	23,817	1681,43 0	-0,00966	1738,060	0,01176	1685,990	-0,01092
19-7-13 11:35	1016,7	24,717	1681,68 0	-0,01011	1738,510	0,01821	1686,240	-0,01011
22-7-13 11:06	1017,8	71,517	1682,44 0	-0,01063	1739,540	0,01440	1687,330	-0,01524
23-7-13 10:11	1017,6	23,083	1682,63 0	-0,00823	1739,860	0,01386	1687,550	-0,00953
24-7-13 10:05	1018,1	23,900	1682,94 0	-0,01297	1740,230	0,01548	1687,860	-0,01297
25-7-13 11:19	1018,2	25,233	1683,19 0	-0,00991	1740,660	0,01704	1688,150	-0,01149
26-7-13 11:24	1015,3	24,083	1683,40 0	-0,00872	1740,870	0,00872	1688,330	-0,00747
29-7-13 11:13	1025,1	71,817	1684,06 0	-0,00919	1741,860	0,01379	1689,050	-0,01003
30-7-13 10:30	1022,7	23,283	1684,34 0	-0,01203	1742,140	0,01203	1689,310	-0,01117
31-7-13 11:07	1014,4	24,617	1684,63 0	-0,01178	1742,540	0,01625	1689,620	-0,01259
1-8-13 10:01	1013,5	22,900	1684,86 0	-0,01004	1742,810	0,01179	1689,850	-0,01004
2-8-13 10:24	1021,2	24,383	1685,07 0	-0,00861	1743,180	0,01517	1690,100	-0,01025
5-8-13 11:01	1018,8	72,617	1685,84 0	-0,01060	1744,060	0,01212	1690,880	-0,01074
6-8-13 11:29	1018,3	24,467	1686,08 0	-0,00981	1744,460	0,01635	1691,150	-0,01104
7-8-13 11:23	1017,2	23,900	1686,32 0	-0,01004	1744,720	0,01088	1691,390	-0,01004
8-8-13 9:11	1019,5	21,800	1686,48 0	-0,00734	1744,990	0,01239	1691,570	-0,00826
9-8-13 9:30	1020,4	24,317	1686,80 0	-0,01316	1745,340	0,01439	1691,900	-0,01357
12-8-13 10:29	1015,8	72,983	1687,54 0	-0,01014	1746,380	0,01425	1692,700	-0,01096
13-8-13 10:53	1015,0	24,400	1687,84 0	-0,01230	1746,680	0,01230	1692,990	-0,01189
14-8-13 9:18	1015,6	22,417	1688,05 0	-0,00937	1747,010	0,01472	1693,260	-0,01204
19-8-13 10:30	1017,8	121,200	1689,33 0	-0,01056	1748,470	0,01205	1694,480	-0,01007
20-8-13 9:45	1017,6	23,250	1689,49 0	-0,00688	1748,920	0,01935	1694,770	-0,01247
Média	1018,0	--	--	-0,01019	--	0,01346	--	-0,01089

Provete	Vel. de trans., $G_{\text{médio}}$ (mg/h)	Coef. de trans., g		Permeância, W	
		($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{P}$ a)	($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{P}$ a)
1	-10,19			-0,190	-5,2E-11
2	-13,46			-0,250	-6,9E-11
3	-10,89			-0,203	-5,6E-11
Média	-11,51	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,214	-5,9E-11

Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp (Pa)	1400
p (hPa)	1018,0
p_0 (hPa)	1013,2 5
δ_{ar} ($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$)	0,6936

Provet e	Resistência, Z		Permeabilidade, δ		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S_d (m)	espessura da camada de ar (mm)	Resistência da camada de ar (Pa.m ² .s/kg)
	(m ² .h.Pa/mg)	(m ² .s.Pa/kg)	(mg/(m.h.Pa))	(kg/m.s.Pa)				
1	-5,2608	-1,908E+10	-0,01528	-4,2E-12	-45,4	-3,65	(mm)	(Pa.m ² .s/kg)
2	-3,9925	-1,451E+10	-0,02005	-5,5E-12	-34,6	-2,77	30	1,4E+08
3	-4,9252	-1,787E+10	-0,01636	-4,5E-12	-42,4	-3,42	(mm)	(Pa.m ² .h/mg)
Média	-4,7262	-1,7E+10	-0,0172	-4,7E-12	-40,8	-3,28	30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
4	239,3	239,7	80,27	80,30			
			80,40	80,40			
	239,0	240,3	80,35	80,40			
			80,36	80,40			
	238,3	240,1	80,28	80,30			
Média	239,5		--	80,4	0,0380	566,410	156,4
5	240,6	240,6	81,84	81,80			
			80,57	80,60			
	240,8	239,9	80,39	80,40			
			80,19	80,20			
	241,4	241,0	80,03	80,00			
Média	240,7		--	80,6	0,0380	602,000	164,1

Val. Méd	---	---	---	---	160
----------	-----	-----	-----	-----	-----

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosféric a, p (hPa)	Intervalo de tempo $t_2 - t_1$ (h)	Provete							
			massa $m_1; m_2$		taxa de variação de massa $G_{1,2}$		massa $m_1; m_2$		taxa de variação de massa $G_{1,2}$	
			(g)	(g/h)	(g)	(g/h)	(g)	(g/h)	(g)	(g/h)
9-7-13 10:50	1016,3	0,000	1682,12	0,00000	1690,71	0,00000				
10-7-13 10:02	1013,8	23,200	1682,11	0,00043	1690,17	0,02328				
11-7-13 11:31	1012,4	25,483	1682,27	-0,00628	1689,44	0,02865				
12-7-13 10:41	1015,3	23,167	1682,34	-0,00302	1688,95	0,02115				
15-7-13 11:11	1020,2	72,500	1682,92	-0,00800	1688,12	0,01145				
16-7-13 11:05	1020,6	23,900	1683,13	-0,00879	1687,95	0,00711				
17-7-13 11:03	1018,7	23,967	1683,41	-0,01168	1687,81	0,00584				
18-7-13 10:52	1017,9	23,817	1683,62 0	-0,00882	1687,650	0,00672				
19-7-13 11:35	1016,7	24,717	1683,93 0	-0,01254	1687,550	0,00405				
22-7-13 11:06	1017,8	71,517	1684,81 0	-0,01230	1687,530	0,00028				
23-7-13 10:11	1017,6	23,083	1685,09 0	-0,01213	1687,550	- 0,00087				
24-7-13 10:05	1018,1	23,900	1685,36 0	-0,01130	1687,670	- 0,00502				
25-7-13 11:19	1018,2	25,233	1685,69 0	-0,01308	1687,820	- 0,00594				
26-7-13 11:24	1015,3	24,083	1685,88 0	-0,00789	1687,910	- 0,00374				
29-7-13 11:13	1025,1	71,817	1686,58 0	-0,00975	1688,480	- 0,00794				
30-7-13 10:30	1022,7	23,283	1686,83 0	-0,01074	1688,740	- 0,01117				
31-7-13 11:07	1014,4	24,617	1687,16 0	-0,01341	1689,040	- 0,01219				
1-8-13 10:01	1013,5	22,900	1687,35 0	-0,00830	1689,240	- 0,00873				
2-8-13 10:24	1021,2	24,383	1687,61 0	-0,01066	1689,510	- 0,01107				
5-8-13 11:01	1018,8	72,617	1688,34 0	-0,01005	1690,450	- 0,01294				
6-8-13 11:29	1018,3	24,467	1688,63 0	-0,01185	1690,760	- 0,01267				
7-8-13 11:23	1017,2	23,900	1688,83 0	-0,00837	1691,050	- 0,01213				
8-8-13 9:11	1019,5	21,800	1689,04 0	-0,00963	1691,260	- 0,00963				
9-8-13 9:30	1020,4	24,317	1689,32 0	-0,01151	1691,580	- 0,01316				
12-8-13 10:29	1015,8	72,983	1690,14 0	-0,01124	1692,490	- 0,01247				
13-8-13 10:53	1015,0	24,400	1690,42 0	-0,01148	1692,820	- 0,01352				
14-8-13 9:18	1015,6	22,417	1690,69 0	-0,01204	1693,040	- 0,00981				

19-8-13 10:30	1017,8	121,200	1691,860	-0,00965	1694,510	-	0,01213		
20-8-13 9:45	1017,6	23,250	1692,190	-0,01419	1694,800	-	0,01247		
Média	1018,0	--	--	-0,01065	--	-	0,01195	--	

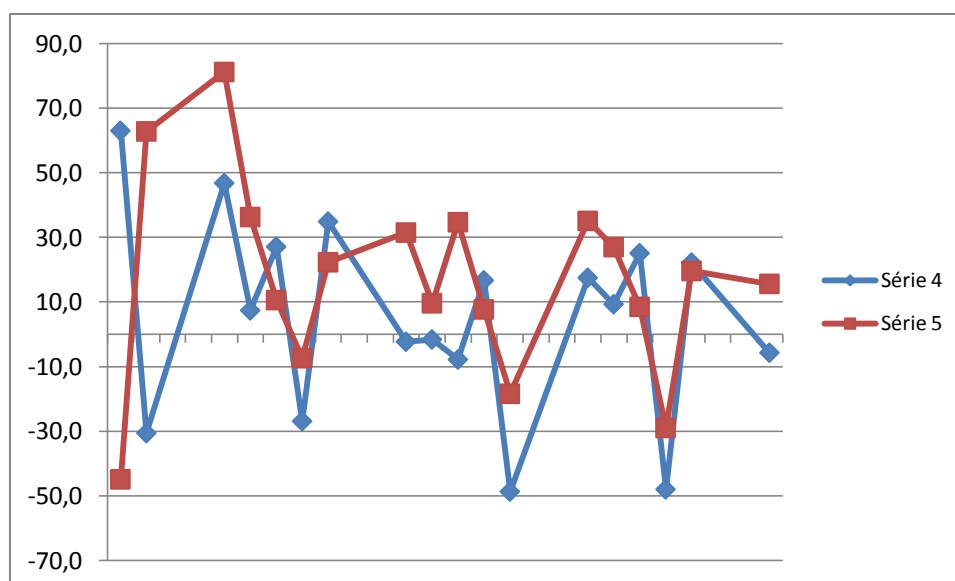
Provete	Vel. de trans., $G_{\text{médio}}$ (mg/h)	Coef. de trans., g		Permeância, W	
		(mg/m ² .h)	(µg/m ² .s)	(mg/m ² .h.Pa)	(kg/m ² .s.Pa)
4	-10,65			-0,199	-5,5E-11
5	-11,95			-0,223	-6,1E-11
Média	-11,30	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,211	-5,8E-11

Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp (Pa)	1400
p (hPa)	1018,0
p ₀ (hPa)	1013,25
δ_{ar} (mg/(m.h.Pa))	0,6936

Provete	Resistência, Z		Permeabilidade, δ		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S_d (m)
	(m ² .h.Pa/mg)	(m ² .s.Pa/kg)	(mg/(m.h.Pa))	(kg/m.s.Pa)		
4	-5,0353	-	-0,01600	-4,4E-12	-43,4	-3,49
5	-4,4919	-	-0,01797	-4,9E-12	-38,6	-3,11
Média	-4,7636	-1,7E+10	-0,0170	-4,7E-12	-41,0	-3,30

espessura da camada de ar	Resistência da camada de ar
(mm)	(Pa.m ² .s/kg)
30	1,4E+08
(mm)	(Pa.m ² .h/mg)
30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



Amostra aglomerado com primário

Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
1	239,9	240,3	80,55	80,60	0,0380	534,830	147,9
			80,58	80,60			
	238,5	238,9	80,49	80,50			
			80,48	80,50			
	239,1	239,1	80,24	80,20			
			80,45	80,50			
Média	239,3		--	80,4	0,0380	534,830	147,9
2	239,4	240,6	80,16	80,20	0,0380	537,660	148,8
			80,29	80,30			
	238,5	239,0	80,20	80,20			
			80,43	80,40			
	240,2	239,3	80,35	80,40			
			79,72	79,70			
Média	239,5		--	80,2	0,0380	537,660	148,8
3	239,3	240,1	80,39	80,40	0,0380	564,750	155,4
			80,55	80,60			
	240,1	239,6	80,77	80,80			
			80,52	80,50			
	238,1	240,3	80,38	80,40			
			80,36	80,40			
Média	239,6		--	80,6	0,0380	564,750	155,4

Val. Méd	---	---	---	---	151
-----------------	-----	-----	-----	-----	------------

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosférica, p (hPa)	Intervalo de tempo t ₂ - t ₁ (h)	Provete					
			massa m ₁ ;m ₂ P		massa m ₁ ;m ₂ C		massa m ₁ ;m ₂ (g)	
			taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)		taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)		taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	
9-7-13 10:50	1016,3	0,000	1679,78	0,00000	1775,89	0,00000		
10-7-13 10:02	1013,8	23,200	1680,04	-0,01121	1775,78	0,00474		
11-7-13 11:31	1012,4	25,483	1680,29	-0,00981	1775,78	0,00000		
12-7-13 10:41	1015,3	23,167	1680,74	-0,01942	1775,77	0,00043		
15-7-13 11:11	1020,2	72,500	1681,65	-0,01255	1775,93	0,00221		
16-7-13 11:05	1020,6	23,900	1682,54	-0,03724	1776,03	0,00418		
17-7-13 11:03	1018,7	23,967	1682,80	-0,01085	1776,18	0,00626		
18-7-13 10:52	1017,9	23,817	1683,24 0	-0,01847	1776,250	0,00294		
19-7-13 11:35	1016,7	24,717	1683,49 0	-0,01011	1776,370	0,00485		
22-7-13 11:06	1017,8	71,517	1685,53	-0,02852	1776,760	-		

			0			0,00545		
23-7-13 10:11	1017,6	23,083	1685,74 0	-0,00910	1776,860	- 0,00433		
24-7-13 10:05	1018,1	23,900	1686,23 0	-0,02050	1777,030	- 0,00711		
25-7-13 11:19	1018,2	25,233	1686,55 0	-0,01268	1777,220	- 0,00753		
26-7-13 11:24	1015,3	24,083	1686,96 0	-0,01702	1777,350	- 0,00540		
29-7-13 11:13	1025,1	71,817	1687,89 0	-0,01295	1777,810	- 0,00641		
30-7-13 10:30	1022,7	23,283	1688,27 0	-0,01632	1778,000	- 0,00816		
31-7-13 11:07	1014,4	24,617	1688,64 0	-0,01503	1778,230	- 0,00934		
1-8-13 10:01	1013,5	22,900	1688,95 0	-0,01354	1778,360	- 0,00568		
2-8-13 10:24	1021,2	24,383	1689,23 0	-0,01148	1778,520	- 0,00656		
5-8-13 11:01	1018,8	72,617	1690,44 0	-0,01666	1779,030	- 0,00702		
6-8-13 11:29	1018,3	24,467	1690,74 0	-0,01226	1779,220	- 0,00777		
7-8-13 11:23	1017,2	23,900	1691,21 0	-0,01967	1779,380	- 0,00669		
8-8-13 9:11	1019,5	21,800	1691,47 0	-0,01193	1779,500	- 0,00550		
9-8-13 9:30	1020,4	24,317	1692,00 0	-0,02180	1779,720	- 0,00905		
12-8-13 10:29	1015,8	72,983	1692,97 0	-0,01329	1780,270	- 0,00754		
13-8-13 10:53	1015,0	24,400	1693,32 0	-0,01434	1780,500	- 0,00943		
14-8-13 9:18	1015,6	22,417	1693,65 0	-0,01472	1780,650	- 0,00669		
19-8-13 10:30	1017,8	121,200	1696,15 0	-0,02063	1781,500	- 0,00701		
20-8-13 9:45	1017,6	23,250	1696,43 0	-0,01204	1781,750	- 0,01075		
Média	1018,0	--	--	-0,01568	--	- 0,00733	--	

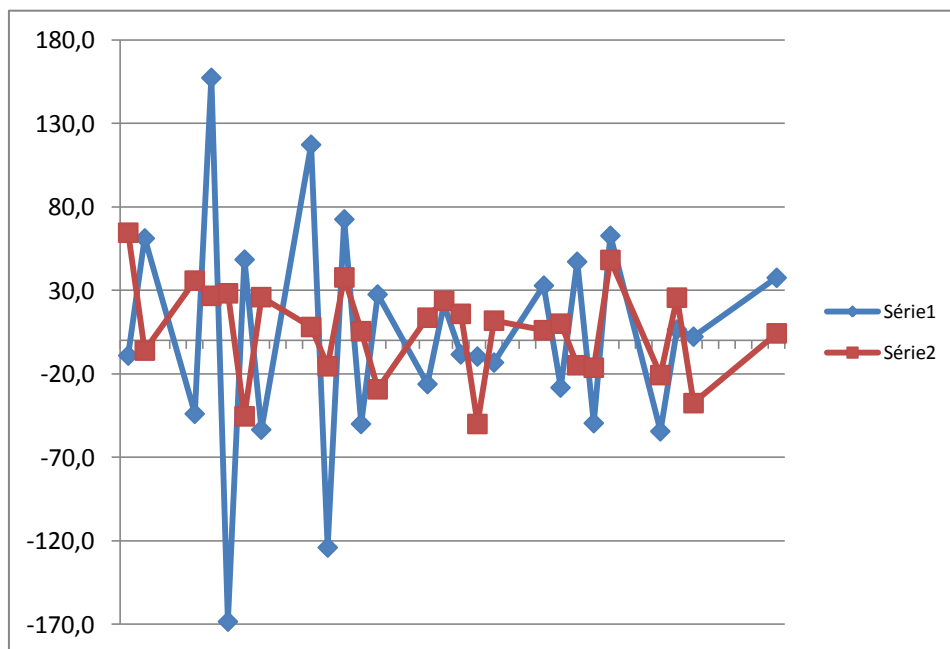
Provete	Vel. de trans., $G_{\text{médio}}$ (mg/h)	Coef. de trans., g		Permeância, W	
		($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$)	($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)
0,0	-15,68			-0,291	-8,0E-11
0,0	-7,33			-0,137	-3,8E-11
0,0	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!
Média	-7,67	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp (Pa)	1400
p (hPa)	1018,0
p_0 (hPa)	1013,2 5
δ_{ar} ($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$)	0,6936

Provet e	Resistência, Z		Permeabilidade, δ		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S_d (m)	espessura da camada de ar (mm)	Resistência da camada de ar ($\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}/\text{kg}$)
	($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{m} \cdot \text{g}$)	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$)	($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$)	($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)				
1	-3,4329	1,250E+10	-0,02340	-6,4E-12	-29,6	-2,38	(mm)	($\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}/\text{kg}$)

2	-7,2978	2,641E+10	-0,01099	-3,0E-12	-63,1	-5,06	30	1,4E+08
							(mm)	(Pa.m ² .h/mg)
Média	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



Amostra aglomerado com cola impermeabilizante

Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
1	239,9	240,3	80,55	80,60	0,0380	534,830	147,9
			80,58	80,60			
	238,5	238,9	80,49	80,50			
			80,48	80,50			
	239,1	239,1	80,24	80,20			
			80,45	80,50			
Média	239,3		--	80,4			
2	239,4	240,6	80,16	80,20	0,0380	537,660	148,8
			80,29	80,30			
	238,5	239,0	80,20	80,20			
			80,43	80,40			
	240,2	239,3	80,35	80,40			
			79,72	79,70			
Média	239,5		--	80,2			
3	239,3	240,1	80,39	80,40	0,0380	537,660	148,8
			80,55	80,60			
	240,1	239,6	80,77	80,80			
			80,52	80,50			
	238,1	240,3	80,38	80,40			

			80,36	80,40			
Média	239,6		--	80,6	0,0380	564,750	155,4

Val. Méd	---	---	---	---	---	---	151
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------------

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosférica , p (hPa)	Intervalo de tempo $t_2 - t_1$ (h)	Provete					
			1		2		3	
			massa $m_1; m_2$ (g)	taxa de variação de massa $G_{1,2}$ (g/h)	massa $m_1; m_2$ (g)	taxa de variação de massa $G_{1,2}$ (g/h)	massa $m_1; m_2$ (g)	taxa de variação de massa $G_{1,2}$ (g/h)
21-8-13 9:26	1017,7	0,000	1697,82	0,00000	1756,95	0,00000	1703,98	0,00000
22-8-13 9:48	1017,0	24,367	1697,97	-0,00616	1757,09	-0,00575	1704,16	-0,00739
23-8-13 9:41	1016,4	23,883	1698,05	-0,00335	1757,29	-0,00837	1704,21	-0,00209
26-8-13 10:44	1009,3	73,050	1698,70	-0,00890	1757,98	-0,00945	1704,80	-0,00808
27-8-13 12:09	1010,6	25,417	1698,81	-0,00433	1758,32	-0,01338	1705,01	-0,00826
28-8-13 9:21	1013,1	21,200	1698,98	-0,00802	1758,54	-0,01038	1705,20	-0,00896
29-8-13 9:44	1014,6	24,383	1699,19	-0,00861	1758,86	-0,01312	1705,40	-0,00820
30-8-13 10:54	1018,5	25,167	1699,40 0	-0,00834	1759,13 0	-0,01073	1705,62 0	-0,00874
2-9-13 10:06	1020,2	71,200	1700,04 0	-0,00899	1759,97 0	-0,01180	1706,27 0	-0,00913
3-9-13 10:34	1019,0	24,467	1700,28 0	-0,00981	1760,28 0	-0,01267	1706,59 0	-0,01308
4-9-13 10:49	1016,5	24,250	1700,51 0	-0,00948	1760,60 0	-0,01320	1706,76 0	-0,00701
5-9-13 10:51	1013,6	24,033	1700,70 0	-0,00791	1760,87 0	-0,01123	1706,97 0	-0,00874
6-9-13 10:59	1014,4	24,133	1700,90 0	-0,00829	1761,13 0	-0,01077	1707,19 0	-0,00912
9-9-13 10:30	1024,0	71,517	1701,67 0	-0,01077	1762,09 0	-0,01342	1707,95 0	-0,01063
10-9-13 11:13	1019,0	24,717	1701,81 0	-0,00566	1762,31 0	-0,00890	1708,12 0	-0,00688
11-9-13 11:04	1016,3	23,850	1701,99 0	-0,00755	1762,61 0	-0,01258	1708,29 0	-0,00713
12-9-13 11:39	1017,4	24,583	1702,28 0	-0,01180	1762,93 0	-0,01302	1708,60 0	-0,01261
13-9-13 10:54	1018,5	23,250	1702,46 0	-0,00774	1763,18 0	-0,01075	1708,83 0	-0,00989
16-9-13 9:51	1016,1	70,950	1703,07 0	-0,00860	1764,00 0	-0,01156	1709,46 0	-0,00888
17-9-13 10:08	1015,3	24,283	1703,31 0	-0,00988	1764,27 0	-0,01112	1709,70 0	-0,00988
18-9-13 10:09	1016,8	24,017	1703,51 0	-0,00833	1764,78 0	-0,02123	1709,93 0	-0,00958
19-9-13 10:34	1017,4	24,417	1704,05 0	-0,02212	1765,13 0	-0,01433	1710,21 0	-0,01147
20-9-13 10:31	1016,8	23,950	1704,30 0	-0,01044	1765,45 0	-0,01336	1710,50 0	-0,01211
23-9-13 10:23	1017,7	71,867	1704,91 0	-0,00849	1766,32 0	-0,01211	1711,20 0	-0,00974
24-9-13 10:41	1014,9	24,300	1705,08 0	-0,00700	1766,53 0	-0,00864	1711,39 0	-0,00782
25-9-13 11:25	1015,0	24,733	1705,35 0	-0,01092	1766,87 0	-0,01375	1711,66 0	-0,01092

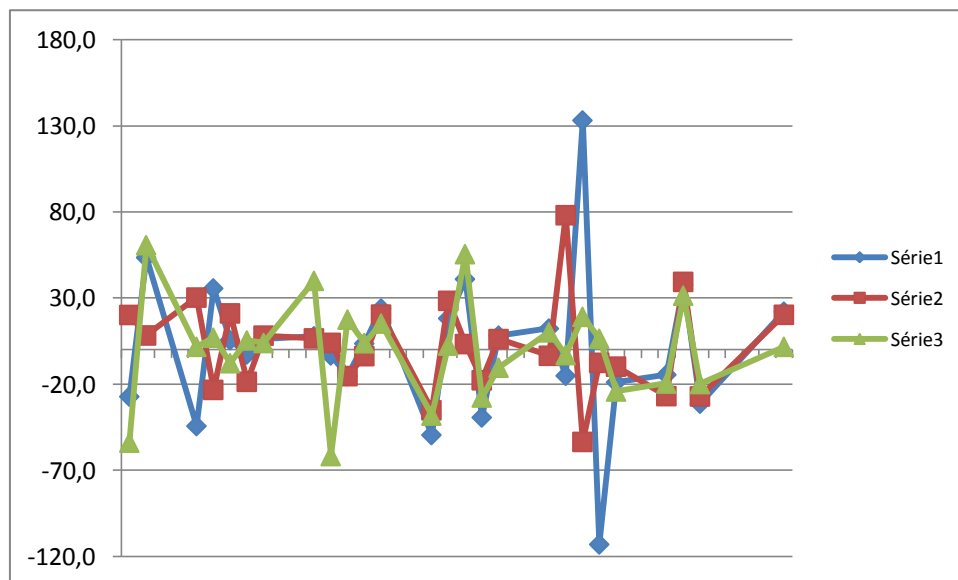
26-9-13 10:49	1010,9	23,400	1705,53 0	-0,00769	1767,11 0	-0,01026	1711,87 0	-0,00897
27-9-13 10:51	1006,9	24,033	1705,77 0	-0,00999	1767,42 0	-0,01290	1712,09 0	-0,00915
30-9-13 11:02	1010,8	72,183	1706,49 0	-0,00997	1768,32 0	-0,01247	1712,83 0	-0,01025
1-10-13 10:49	1010,6	23,783	1706,68 0	-0,00799	1768,61 0	-0,01219	1713,06 0	-0,00967
2-10-13 9:59	1009,8	23,167	1706,91 0	-0,00993	1768,83 0	-0,00950	1713,27 0	-0,00906
Média	1014,8	--	--	-0,01035	--	-0,01293	--	-0,00985

Provete	Vel. de trans., $G_{médio}$ (mg/h)	Coef. de trans., g		Permeância, W	
		(mg/m ² .h)	(μg/m ² .s)	(mg/m ² .h.Pa)	(kg/m ² .s.Pa)
1	-10,35			-0,193	-5,3E-11
2	-12,93			-0,241	-6,6E-11
3	-9,85			-0,184	-5,1E-11
Média	-11,04	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,206	-5,7E-11

Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp (Pa)	1400
p (hPa)	1014,8
p ₀ (hPa)	1013,25
δ _{ar} (mg/(m.h.Pa))	0,6958

Provet e	Resistência, Z		Permeabilidade, δ		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S _d (m)	espessura da camada de ar (mm)	Resistência da camada de ar (Pa.m ² .s/kg)
	(m ² .h.Pa/mg)	(m ² .s.Pa/kg)	(mg/(m.h.Pa))	(kg/m.s.Pa)				
1	-5,1801	-	-0,01552	-4,3E-12	-44,8	-3,60	(mm)	(Pa.m ² .s/kg)
2	-4,1545	-	-0,01933	-5,3E-12	-36,0	-2,89	30	1,4E+08
3	-5,4410	-	-0,01483	-4,1E-12	-46,9	-3,78	(mm)	(Pa.m ² .h/mg)
Média	-4,9252	-1,8E+10	-0,0166	-4,6E-12	-42,6	-3,42	30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
4	239,3	239,7	80,27	80,30	0,0380	566,410	156,4
			80,40	80,40			
	239,0	240,3	80,35	80,40			
			80,36	80,40			
	238,3	240,1	80,28	80,30			
			80,59	80,60			
Média	239,5		--	80,4	0,0380	566,410	156,4
5	240,6	240,6	81,84	81,80	0,0380	602,000	164,1
			80,57	80,60			
	240,8	239,9	80,39	80,40			
			80,19	80,20			
	241,4	241,0	80,03	80,00			
			80,35	80,40			
Média	240,7		--	80,6	0,0380	602,000	164,1

Val. Méd	---	---	---	---	---	---	160
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------------

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosférica, p (hPa)	Intervalo de tempo t ₂ - t ₁ (h)	Provete					
			3		4		massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)
			massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)		
21-8-13 9:26	1017,7	0,000	1698,03	0,00000	1703,39	0,00000		
22-8-13 9:48	1017,0	24,367	1698,21	-0,00739	1703,54	-0,00616		
23-8-13 9:41	1016,4	23,883	1698,40	-0,00796	1703,78	-0,01005		
26-8-13 10:44	1009,3	73,050	1699,06	-0,00903	1704,85	-0,01465		
27-8-13 12:09	1010,6	25,417	1699,28	-0,00866	1705,13	-0,01102		
28-8-13 9:21	1013,1	21,200	1699,50	-0,01038	1705,38	-0,01179		
29-8-13 9:44	1014,6	24,383	1699,72	-0,00902	1705,68	-0,01230		
30-8-13 10:54	1018,5	25,167	1699,950	-0,00914	1705,960	-0,01113		
2-9-13 10:06	1020,2	71,200	1700,650	-0,00983	1706,680	-0,01011		
3-9-13 10:34	1019,0	24,467	1700,910	-0,01063	1706,950	-0,01104		
4-9-13 10:49	1016,5	24,250	1701,160	-0,01031	1707,320	-0,01526		
5-9-13 10:51	1013,6	24,033	1701,370	-0,00874	1707,590	-0,01123		
6-9-13 10:59	1014,4	24,133	1701,600	-0,00953	1707,860	-0,01119		
9-9-13 10:30	1024,0	71,517	1702,390	-0,01105	1708,850	-0,01384		
10-9-13 11:13	1019,0	24,717	1702,560	-0,00688	1709,050	-0,00809		
11-9-13 11:04	1016,3	23,850	1702,800	-0,01006	1709,400	-0,01468		
12-9-13 11:39	1017,4	24,583	1703,090	-0,01180	1709,640	-0,00976		
13-9-13 10:54	1018,5	23,250	1703,310	-0,00946	1709,890	-0,01075		
16-9-13 9:51	1016,1	70,950	1703,960	-0,00916	1710,640	-0,01057		
17-9-13 10:08	1015,3	24,283	1704,250	-0,01194	1710,870	-0,00947		
18-9-13 10:09	1016,8	24,017	1704,390	-0,00583	1711,190	-0,01332		
19-9-13 10:34	1017,4	24,417	1704,710	-0,01311	1711,430	-0,00983		

20-9-13 10:31	1016,8	23,950	1704,970	-0,01086	1711,630	-0,00835		
23-9-13 10:23	1017,7	71,867	1705,710	-0,01030	1712,460	-0,01155		
24-9-13 10:41	1014,9	24,300	1705,950	-0,00988	1712,650	-0,00782		
25-9-13 11:25	1015,0	24,733	1706,210	-0,01051	1713,010	-0,01456		
26-9-13 10:49	1010,9	23,400	1706,440	-0,00983	1713,280	-0,01154		
27-9-13 10:51	1006,9	24,033	1706,650	-0,00874	1713,500	-0,00915		
30-9-13 11:02	1010,8	72,183	1707,400	-0,01039	1714,360	-0,01191		
1-10-13 10:49	1010,6	23,783	1707,640	-0,01009	1714,590	-0,00967		
2-10-13 9:59	1009,8	23,167	1707,840	-0,00863	1714,800	-0,00906		
Média	1014,8	--	--	-0,01002	--	-0,01062	--	0,00000

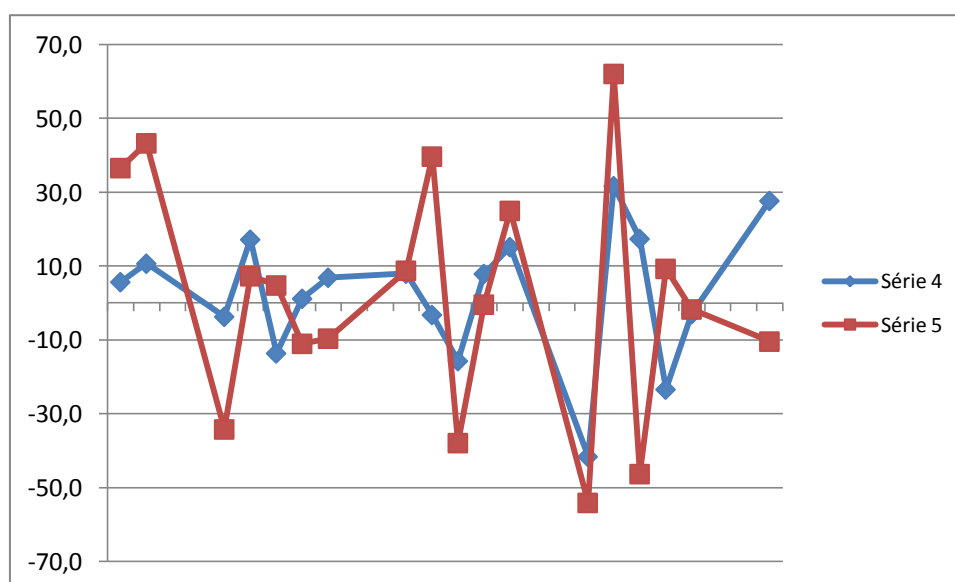
Provete	Vel. de trans., $G_{\text{médio}}$ (mg/h)	Coef. de trans., g		Permeância, W	
		($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$)	($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)
4	-10,02			-0,187	-5,2E-11
5	-10,62			-0,198	-5,5E-11
Média	-10,32	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,193	-5,4E-11

Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp (Pa)	1400
p (hPa)	1014,8
p_0 (hPa)	1013,25
δ_{ar} (mg/(m.h.Pa))	0,6958

Provet e	Resistência, Z		Permeabilidade, δ		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S_d (m)
	($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{mg}$)	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$)	($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$)	($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)		
4	-5,3494	-	-0,01503	-4,2E-12	-46,3	-3,72
5	-5,0494	-	-0,01596	-4,4E-12	-43,6	-3,51
Média	-5,1994	-1,9E+10	-0,0155	-4,3E-12	-45,0	-3,62

espessura da camada de ar	Resistência da camada de ar
(mm)	($\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}/\text{kg}$)
30	1,4E+08
(mm)	($\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}/\text{mg}$)
30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
1	239,9	240,3	80,55	80,60	0,0380	534,830	147,9
			80,58	80,60			
	238,5	238,9	80,49	80,50			
			80,48	80,50			
	239,1	239,1	80,24	80,20			
			80,45	80,50			
Média	239,3		--	80,4	0,0380	534,830	147,9
2	239,4	240,6	80,16	80,20	0,0380	537,660	148,8
			80,29	80,30			
	238,5	239,0	80,20	80,20			
			80,43	80,40			
	240,2	239,3	80,35	80,40			
			79,72	79,70			
Média	239,5		--	80,2	0,0380	537,660	148,8
3	240,1	239,6	80,77	80,80	0,0380	564,750	155,5
			80,52	80,50			
	238,1	240,3	80,38	80,40			
			80,36	80,40			
Média	239,5		--	80,6	0,0380	564,750	155,5

Val. Méd	---	---	---	---	---	---	151
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------------

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosférica, p (hPa)	Intervalo de tempo t ₂ - t ₁ (h)	Provete					
			massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)
			4-10-13 10:29	1018,8	0,000	1771,27	0,00000	1835,71
7-10-13 11:11	1020,4	72,700	1771,06	0,00289	1835,57	0,00193	1778,93	0,00261
8-10-13 11:01	1020,6	23,833	1771,14	-0,00336	1835,64	0,00294	1779,00	0,00294
9-10-13 11:05	1019,0	24,067	1771,17	-0,00125	1835,69	0,00208	1779,03	0,00125
10-10-13 10:04	1016,3	22,983	1771,28	-0,00479	1835,79	0,00435	1779,13	0,00435
11-10-13 11:01	1015,0	24,950	1771,35	-0,00281	1835,87	0,00321	1779,19	0,00240
14-10-13 11:01	1021,7	72,000	1771,60	-0,00347	1836,10	0,00319	1779,35	0,00222
15-10-13 10:11	1022,6	23,167	1771,710	-0,00475	1836,200	0,00432	1779,450	0,00432
16-10-13 10:31	1021,7	24,333	1771,810	-0,00411	1836,300	0,00411	1779,520	0,00288

17-10-13 10:44	1018,9	24,217	1771,9 40	-0,00537	1836,470	- 0,00702	1779,660	- 0,00578
18-10-13 11:09	1013,9	24,417	1772,0 80	-0,00573	1836,610	- 0,00573	1779,800	- 0,00573
21-10-13 9:44	1012,5	70,583	1772,3 90	-0,00439	1836,940	- 0,00468	1780,070	- 0,00383
22-10-13 11:14	1006,3	25,500	1772,5 30	-0,00549	1837,100	- 0,00627	1780,210	- 0,00549
23-10-13 10:16	1014,2	23,033	1772,6 20	-0,00391	1837,190	- 0,00391	1780,280	- 0,00304
24-10-13 9:41	1008,5	23,417	1772,7 70	-0,00641	1837,340	- 0,00641	1780,400	- 0,00512
25-10-13 10:56	1009,9	25,250	1772,8 50	-0,00317	1837,450	- 0,00436	1780,510	- 0,00436
28-10-13 10:09	1021,4	71,217	1773,1 80	-0,00463	1837,720	- 0,00379	1780,710	- 0,00281
29-10-13 10:29	1025,3	24,333	1773,2 10	-0,00123	1837,730	- 0,00041	1780,720	- 0,00041
30-10-13 9:54	1025,9	23,417	1773,2 90	-0,00342	1837,810	- 0,00342	1780,780	- 0,00256
31-10-13 9:48	1026,3	23,900	1773,4 00	-0,00460	1837,920	- 0,00460	1780,880	- 0,00418
Média	1026,1	--	--	-0,00401	--	0,00401	--	0,00337

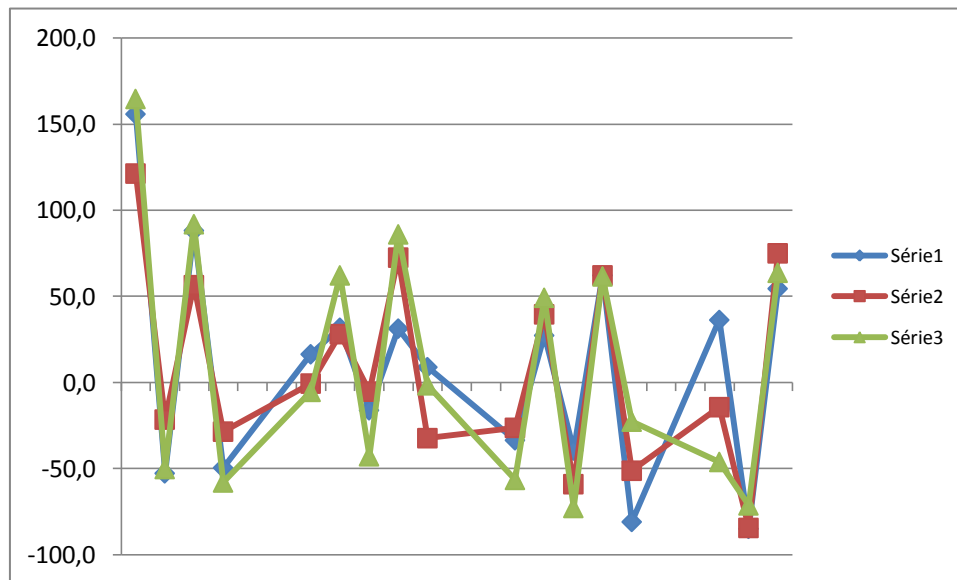
Provete	Vel. de trans., $G_{\text{médio}}$ (mg/h)	Coef. de trans., g		Permeância, W	
		($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$)	($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)
1	-4,01			-0,075	-2,1E-11
2	-4,01			-0,075	-2,1E-11
3	-3,37			-0,063	-1,8E-11
Média	-3,80	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,071	-2,0E-11

Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp (Pa)	1400
p (hPa)	1026,1
p_0 (hPa)	1013,25
δ_{ar} ($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$)	0,6881

Provet e	Resistência, Z		Permeabilidade, δ		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S_d (m)
	($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{mg}$)	($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$)	($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$)	($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)		
1	-13,3068	- 4,804E+10	-0,00603	-1,7E-12	-114,1	-9,17
2	-13,3068	- 4,804E+10	-0,00602	-1,7E-12	-114,3	-9,17
3	-15,8264	- 5,712E+10	-0,00508	-1,5E-12	-135,5	-10,92
Média	-14,1467	-5,1E+10	-0,0057	-1,6E-12	-121,3	-9,75

espessura da camada de ar	Resistência da camada de ar
(mm)	($\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}/\text{kg}$)
30	1,4E+08
(mm)	($\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}/\text{mg}$)
30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



Provete	Diâmetro		Espessura		Área útil (m ²)	Massa (g)	Massa superficial (Kg/m ²)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)			
4	239,3	239,7	80,27	80,30	0,0380	566,410	156,4
			80,40	80,40			
	239,0	240,3	80,35	80,40			
			80,36	80,40			
	238,3	240,1	80,28	80,30			
			80,59	80,60			
Média	239,5		--	80,4			
5	240,6	240,6	81,84	81,80	0,0380	602,000	164,1
			80,57	80,60			
	240,8	239,9	80,39	80,40			
			80,19	80,20			
	241,4	241,0	80,03	80,00			
			80,35	80,40			
Média	240,7		--	80,6			

Val. Méd	---	---	---	---	160
-----------------	-----	-----	-----	-----	------------

Data / hora (dd-mm-aa hh:mm)	Pressão atmosférica, p (hPa)	Intervalo de tempo t ₂ - t ₁ (h)	Provete					
			massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)	massa m ₁ ;m ₂ (g)	taxa de variação de massa G _{1,2} (g/h)

4-10-13 10:29	1018,8	0,000	1770,4 6	0,00000	1787,44	0,00000		
7-10-13 11:11	1020,4	72,700	1770,3 4	0,00165	1787,15	0,00399		
8-10-13 11:01	1020,6	23,833	1770,3 9	-0,00210	1787,20	- 0,00210		
9-10-13 11:05	1019,0	24,067	1770,4 7	-0,00332	1787,23	- 0,00125		
10-10-13 10:04	1016,3	22,983	1770,5 1	-0,00174	1787,31	- 0,00348		
11-10-13 11:01	1015,0	24,950	1770,6 1	-0,00401	1787,37	- 0,00240		
14-10-13 11:01	1021,7	72,000	1770,8 2	-0,00292	1787,58	- 0,00292		
15-10-13 10:11	1022,6	23,167	1770,9 20	-0,00432	1787,670	- 0,00388		
16-10-13 10:31	1021,7	24,333	1771,0 10	-0,00370	1787,780	- 0,00452		
17-10-13 10:44	1018,9	24,217	1771,1 50	-0,00578	1787,900	- 0,00496		
18-10-13 11:09	1013,9	24,417	1771,3 10	-0,00655	1788,020	- 0,00491		
21-10-13 9:44	1012,5	70,583	1771,6 00	-0,00411	1788,310	- 0,00411		
22-10-13 11:14	1006,3	25,500	1771,7 60	-0,00627	1788,420	- 0,00431		
23-10-13 10:16	1014,2	23,033	1771,8 30	-0,00304	1788,510	- 0,00391		
24-10-13 9:41	1008,5	23,417	1771,9 80	-0,00641	1788,670	- 0,00683		
25-10-13 10:56	1009,9	25,250	1772,0 90	-0,00436	1788,760	- 0,00356		
28-10-13 10:09	1021,4	71,217	1772,3 20	-0,00323	1789,060	- 0,00421		
29-10-13 10:29	1025,3	24,333	1772,3 30	-0,00041	1789,080	- 0,00082		
30-10-13 9:54	1025,9	23,417	1772,4 20	-0,00384	1789,130	- 0,00214		
31-10-13 9:48	1026,3	23,900	1772,5 20	-0,00418	1789,240	- 0,00460		
Média	1026,1	--	--	-0,00401	--	- 0,00337	--	

Provete	Vel. de trans., G _{médio} (mg/h)	Coef. de trans., g (mg/m ² .h) (µg/m ² .s)		Permeância, W (mg/m ² .h.Pa) (kg/m ² .s.Pa)	
		4	-4,01		
5	-3,37			-0,063	-1,8E-11
Média	-3,69	#DIV/0!	#DIV/0!	-0,069	-2,0E-11

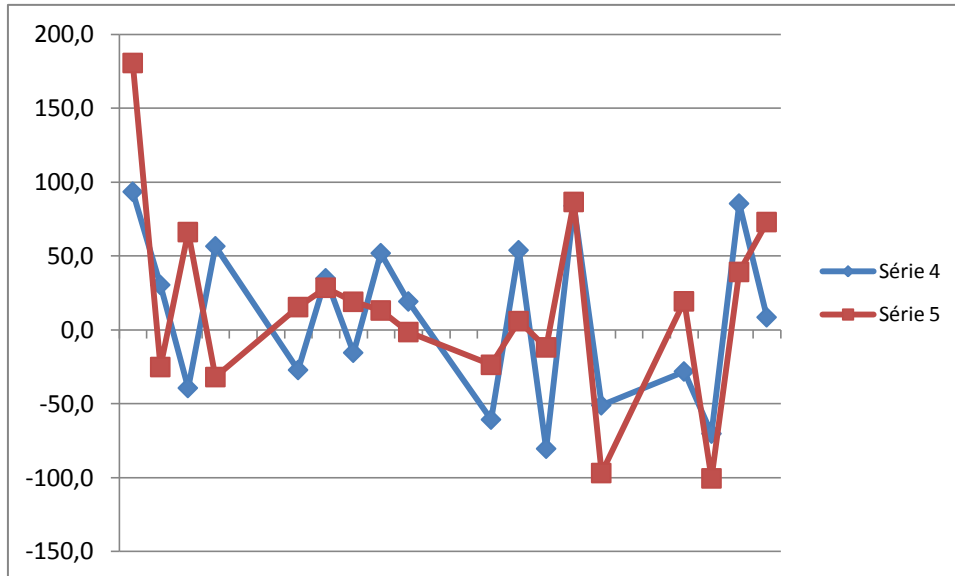
Condições de ensaio	
T (°C)	20,0
HR (%)	50,0
Δp ((Pa)	1400
p (hPa)	1026,1
p₀ (hPa)	1013,25
δ_{ar} (mg/(m.h.Pa))	0,6881

Provet e	Resistência, Z (m ² .h.Pa/mg) (m ² .s.Pa/kg)		Permeabilidade, δ (mg/(m.h.Pa)) (kg/m.s.Pa)		Factor de resist., μ (adimens.)	Esp. de ar equiv., S_d (m)
	4	-13,3068	4,804E+10	-0,00603		

espessura da camada de ar	Resistência da camada de ar
(mm)	(Pa.m ² .s/kg)

5	-15,8264	-	-0,00508	-1,5E-12	-135,5	-10,92	30	1,4E+08
		5,712E+10					(mm)	(Pa.m ² .h/mg)
Média	-14,5666	-5,3E+10	-0,0056	-1,6E-12	-124,8	-10,05	30	4,0E-02

Gráfico da estabilização das massas



ANEXO III

Ensaio da condutibilidade térmica

Para calcular o valor declarado do λ , procede-se à sua correção através dos factores de conversão devido à humidade (F_m) e que se destinam a permitir a conversão de valores da condutibilidade térmica determinados sobre provetes previamente secos ($\lambda_{10(dry)}$), em valores (declarados) correspondentes às condições definidas na norma e outra documentação técnica europeias relativas a isolantes térmicos para provetes com teor de água em equilíbrio com ambiente normalizado 23 °C/50 % HR ($\lambda_{10(23/50)}$).

Considera-se então o valor obtido no ensaio para uma determinada condição de condicionamento prévio (1), λ_1 , o valor λ_2 estimado para uma segunda condição de condicionamento (2) é obtido pela expressão:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_m$$

O factor de conversão F_m é dado pela expressão

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)}$$

em que

e – neperiano

u_1, u_2 – teores de água de equilíbrio (% m/m) nos dois ambientes de condicionamento prévio em questão (1 e 2)

f_u – *coeficiente de conversão com a humidade* (específico para as condições adotadas)

Com base nos resultados obtidos nos diferentes ensaios realizados (Quadro 8) calcularam-se os *coeficientes de conversão com a humidade*:

- ($f_{u,1}$) para conversão de $\lambda_{10(dry)}$ para $\lambda_{10(23,50)}$
- ($f_{u,2}$) para conversão de $\lambda_{10(23,50)}$ para $\lambda_{10(23,80)}$
- ($f_{u,3}$) para conversão de $\lambda_{10(23,80)}$ para $\lambda_{10(23,100)}$

O cálculo destes dois coeficientes seguiu os princípios definidos na norma europeia EN 10456:2007 [22].

Nesse sentido utilizaram-se as seguintes expressões:

$$f_{u,1} = \frac{\ln\left(\frac{\lambda_{10(23/50)}}{\lambda_{10(dry)}}\right)}{U_{23/50} - U_{10(dry)}}$$

$$f_{u,2} = \frac{\ln\left(\frac{\lambda_{10(23/80)}}{\lambda_{10(23/50)}}\right)}{U_{23/80} - U_{23/50}}$$

Com base na média dos valores individuais dos vários parâmetros relevantes constantes das expressões anteriores calcularam-se os valores dos coeficientes $f_{u,1}$ e $f_{u,2}$ para 80 mm de espessura.

Resultados:

	Tmédia								
	10,2 °C		10,0°C		10,1°C		10,1°C		
	ρ (kg/m ³)	λ_{seco} (W/m.° C)	usec o	$\lambda_{23/50}$ (W/m.° C)	$u_{23/50}$	$\lambda_{23/80}$ (W/m.° C)	$u_{23/80}$	$\lambda_{23/100}$ (W/m.° C)	$u_{23/100}$
Valor médio	151,6	0,0411	0,03	0,0426	2,00	0,0430	3,63	0,0442	5,88
Factor de correção				0,0182		0,0062		0,0121	
λ corrigido				0,0442		0,04347		0,04544	

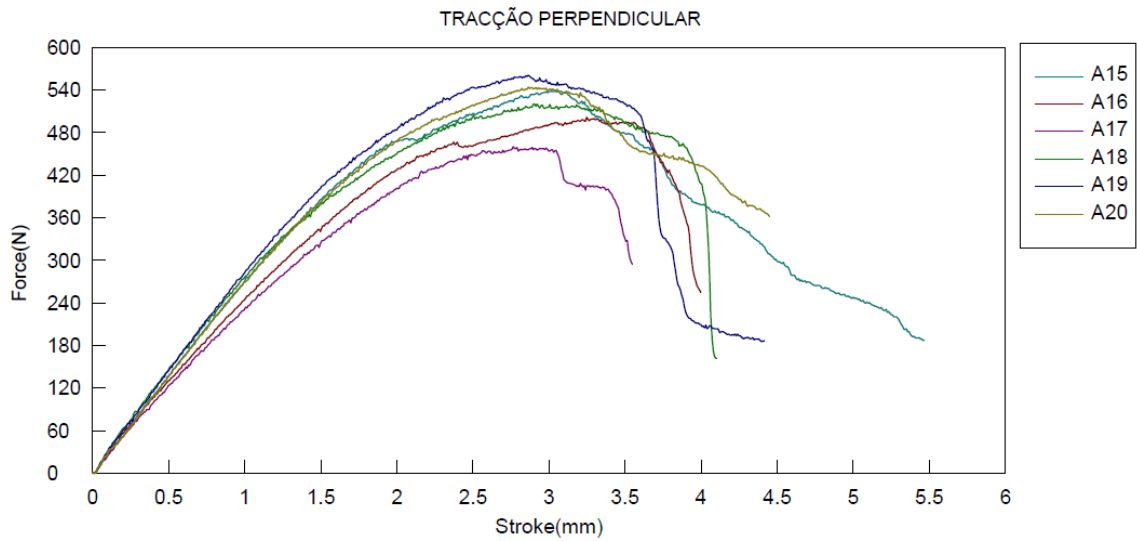
$f_{u,1}$	1,8227
$f_{u,2}$	0,6196
$f_{u,3}$	1,2110

Fm1	1,0365
Fm2	1,0102
Fm3	1,0276

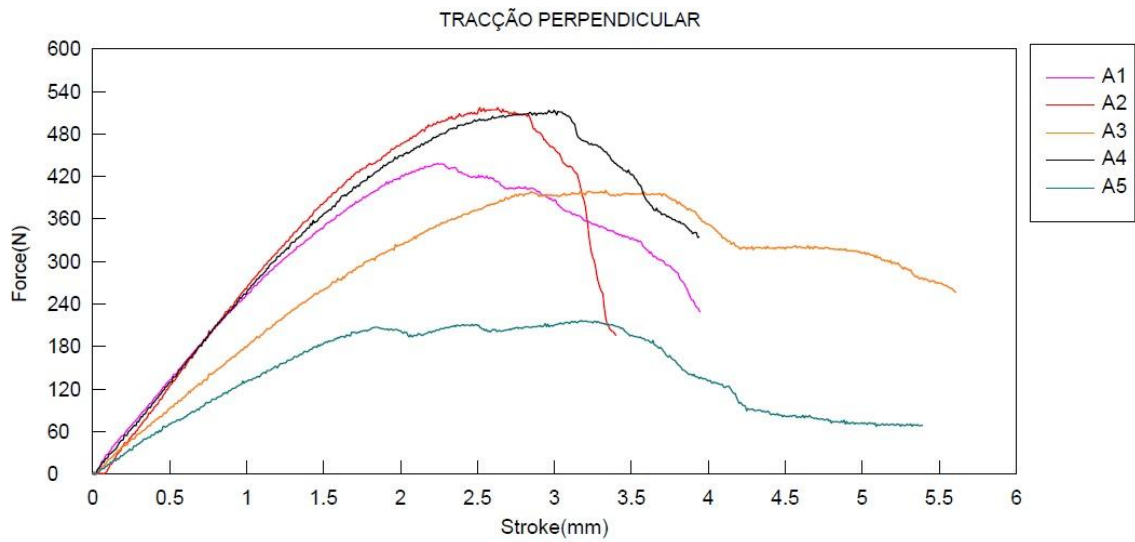
ANEXO IV

Ensaio de durabilidade

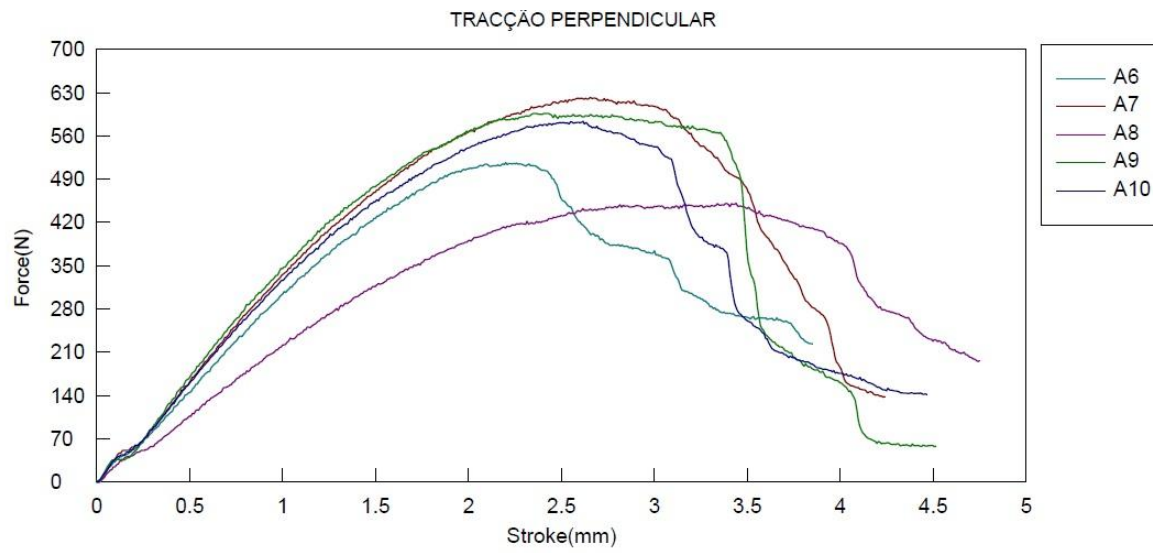
Tração inicial



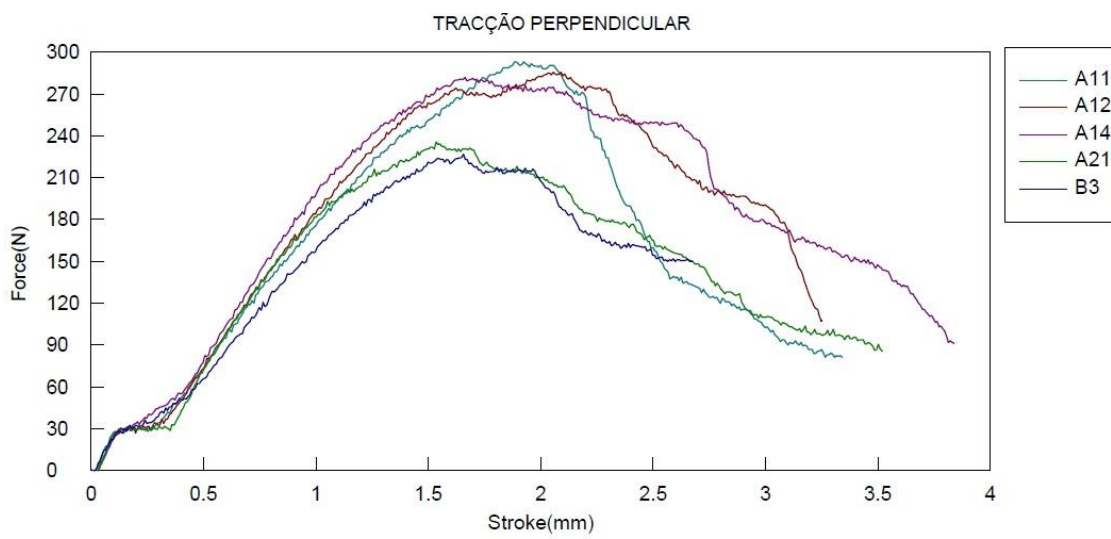
Tração 7 dias



Tração 28 dias



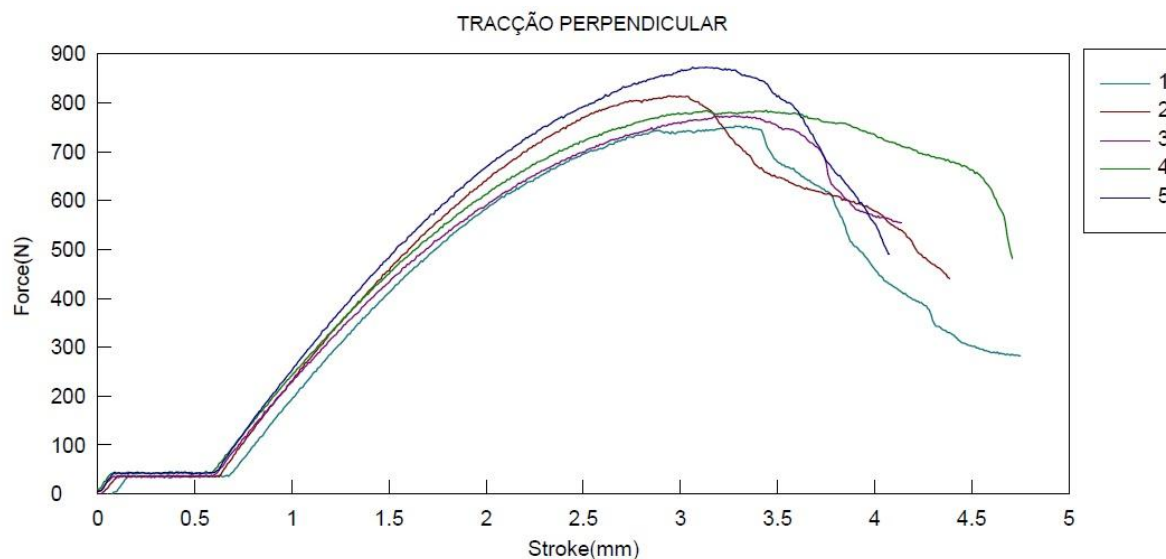
Tração 56 dias



ANEXO V

Ensaio de envelhecimento

Tração perpendicular lajeta com cola impermeabilizante imersa em água

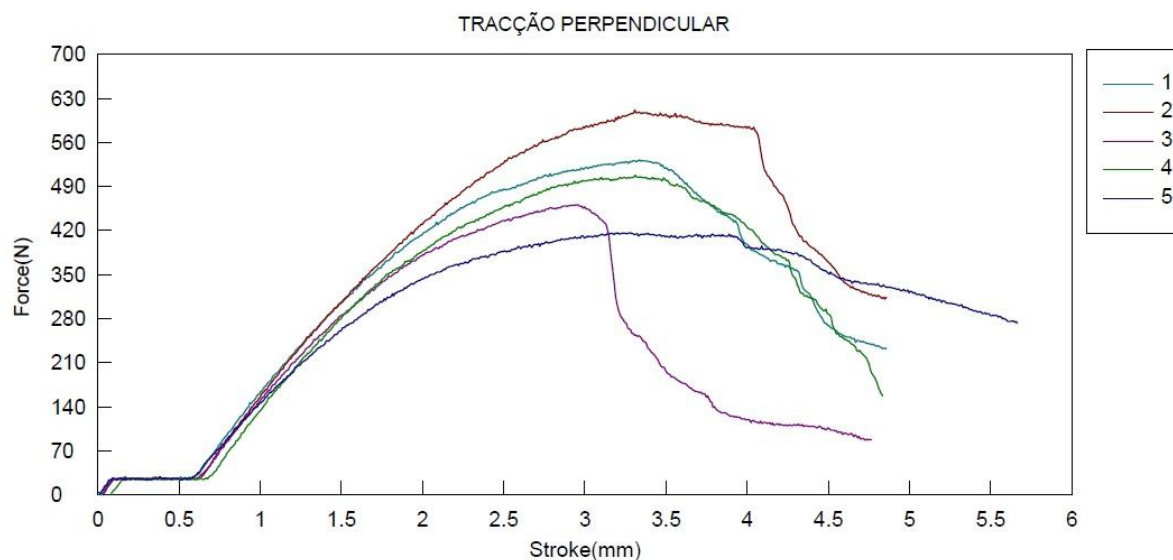


provete	comp. (mm)	larg. (mm)	esp.		massa (g)	massa volumica aparente (kg/m ³)	área (mm ²)	F _m (N)	σ _{mt} (kPa)	deformação (mm)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)						
A1	100,8	97,6	80,75	80,80		0,0	9858	753,1	76,39	2,63
			80,69	80,70						
	100,8	98,0	80,42	80,40						
			80,42	80,40						
média	100,8	97,8	--	80,6						
A2	100,8	99,4	80,22	80,20		0,0	10019	814,4	81,29	2,29
			80,22	80,20						
	100,9	99,2	79,89	79,90						
			80,20	80,20						
média	100,9	99,3	--	80,2						
A3	100,8	99,4	80,82	80,80		0,0	10040	773,8	77,07	2,58
			80,34	80,30						
	101,0	99,5	80,36	80,40						
			80,78	80,80						
média	100,9	99,5	--	80,6						
A4	100,7	99,2	80,35	80,40		0,0	9989	785,0	78,59	2,79
			80,03	80,00						
	100,7	99,1	80,01	80,00						
			80,17	80,20						
média	100,7	99,2	--	80,2						
A5	100,8	97,5	80,52	80,50		0,0				
			80,81	80,80						
	100,7	97,7	80,63	80,60						

			80,63	80,60						
média	100,8	97,6	--	80,6		0,0	9838	873,1	88,75	2,45

val. Méd	---	---	---	---	---	0,0	---	---	---	80,42	2,55
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	------------	-----	-----	-----	--------------	-------------

Tração perpendicular lajeta com cola impermeabilizante após imersão e ciclos de gelo-degelo



provete	comp. (mm)	larg. (mm)	esp.		massa (g)	massa volúmica aparente (kg/m ³)	área (mm ²)	F _m (N)	σ _{mt} (kPa)	deformação (mm)
			dimens. (mm)	d ₀ (mm)						
A1	100,3	99,8	80,47	80,50						
			80,58	80,60						
	100,3	99,7	81,17	81,20						
			80,67	80,70						
média	100,3	99,8	--	80,8	138,55	171,3	10010	532,5	53,20	3,34
A2	100,4	100,0	80,48	80,50						
			80,44	80,40						
	100,2	100,0	81,20	81,20						
			80,59	80,60						
média	100,3	100,0	--	80,6	138,43	171,2	10030	611,3	60,95	3,31
A3	100,4	99,6	79,81	79,80						
			80,53	80,50						
	100,4	99,6	80,84	80,80						
			80,04	80,00						
média	100,4	99,6	--	80,2	140,94	175,7	10000	461,3	46,13	2,96
A4	100,3	99,7	79,77	79,80						
			79,83	79,80						
	100,4	99,6	80,82	80,80						
			80,39	80,40						
média	100,4	99,7	--	80,2	132,70	165,3	10010	508,1	50,76	3,31
A5	99,8	99,4	80,54	80,50						

ANEXOS

			80,38	80,40							
	99,4	98,9	80,77	80,80							
			80,55	80,60							
média	99,6	99,2	--	80,6	151,75	190,6	9880	416,9	42,20	3,28	

val. Méd	---	---	---	---	---	174,8	---	---	---	---	50,65	3,24
-----------------	------------	------------	------------	------------	------------	--------------	------------	------------	------------	------------	--------------	-------------

ANEXO VI

Ensaio de nevoeiro salino

Amostra inicial

provete	comp. (mm)	larg. (mm)	esp. (mm)	vão (mm)	massa (g)	massa volumica aparente (Kg/m ³)	F _m (N)	σ _b (KPa)	flecha (mm)
1	249,6	89,9	40,6						
			40,5						
	249,9	89,8	40,3						
			40,5						
	89,9								
média	249,8	89,8	40,4	220	132,95	146,7	88,6	199,5	12,2
2	250,0	89,4	40,4						
			40,5						
	249,8	89,5	40,8						
			40,6						
	89,5								
média	250,0	89,4	40,6	220	120,13	132,4	103,7	232,2	9,1
3	249,4	89,8	40,5						
			40,4						
	249,4	89,8	40,3						
			40,4						
	90,0								
média	249,4	89,8	40,4	220	128,21	141,7	94,1	211,9	10,5
4	249,5	89,6	40,4						
			40,8						
	249,5	89,7	40,5						
			40,3						
	89,9								
média	249,6	89,8	40,6	220	121,43	133,4	112,4	250,6	7,7
5	249,7	90,0	40,6						
			40,7						
	249,7	89,9	40,6						
			40,3						
	89,8								
média	249,8	90,0	40,6	220	133,50	146,3	97,2	216,2	14,9
6	250,1	89,3	40,6						
			40,5						
	250,0	89,8	40,5						
			40,4						
	89,9								

média	250,0	89,6	40,6	220	134,22	147,6	92,0	205,6	15,2
-------	-------	------	------	-----	--------	-------	------	-------	------

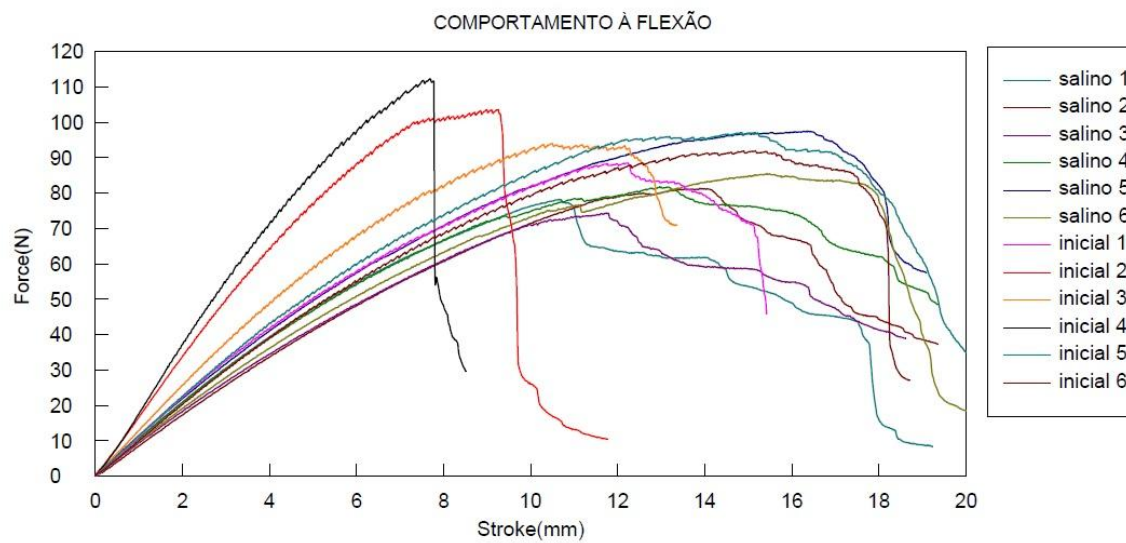
val. méd	---	---	---	---	---	---	---	---	141,4	---	219,3	9,1
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-------	-----

Amostra sujeita a ciclos de nevoeiro salino e secagem

provete	comp. (mm)	larg. (mm)	esp. (mm)	vão (mm)	massa (g)	massa volumica aparente (Kg/m ³)	F _m (N)	σ _b (KPa)	flecha (mm)
1	249,6	99,9	40,3	220	140,22	139,3	78,3	158,6	10,7
			40,2						
	249,4	99,6	40,7						
			40,7						
	99,6								
média	249,6	99,8	40,4	220	140,22	139,3	78,3	158,6	10,7
2	250,2	99,9	40,5	220	134,99	133,9	81,4	164,9	13,9
			40,4						
	249,8	99,9	40,2						
			40,1						
	99,7								
média	250,0	99,8	40,4	220	134,99	133,9	81,4	164,9	13,9
3	250,2	99,9	40,4	220	137,65	137,4	74,5	152,7	11,7
			40,1						
	250,1	99,3	40,0						
			40,3						
	99,4								
média	250,2	99,6	40,2	220	137,65	137,4	74,5	152,7	11,7
4	250,0	100,1	40,0	220	137,30	136,6	81,9	167,2	13,0
			40,4						
	249,8	100,1	40,3						
			40,2						
	100,0								
média	250,0	100,0	40,2	220	137,30	136,6	81,9	167,2	13,0
5	249,9	99,9	40,2	220	139,64	138,9	97,6	199,3	16,4
			40,1						
	249,9	99,9	40,2						
			40,1						
	100,0								
média	250,0	100,0	40,2	220	139,64	138,9	97,6	199,3	16,4
6	249,7	99,8	40,1	220	138,15	137,8	85,6	175,1	15,4
			40,2						
	249,9	99,9	40,2						
			40,0						
	99,9								
média	249,8	99,8	40,2	220	138,15	137,8	85,6	175,1	15,4

val. méd	---	---	---	---	---	---	---	---	---	137,3	---	169,6	13,5
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-------	------

Flexão após nevoeiro salino



ANEXO VII

Ensaio das reflectâncias totais

Reflectâncias totais medidas com a esfera integradora

ptotal				Média total	
Amostra	Provete 1	Provete 2	Provete 3		
Expostos célula	19,9	16,5	10,2		
	18,4	16,4	11,2		
	19,8	16,8	10,1		
Média	19,367	16,567	10,5	15,478	15,5%
Tinta Branco	89	85,5	87,1		
	88,7	85,9	85,4		
	89,6	86	88,1		
Média	89,1	85,8	86,86666667	87,256	87,3%
Primário+Branco	85,4	89,5	91,5		
	89,9	87,8	91,3		
	89,9	89,7	90,8		
Média	88,4	89	91,2	89,533	89,5%
Verniz pinho	5,5	5,5	5,2		
	5,6	5,6	5,4		
	5,7	5,5	5,5		
Média	5,6	5,533	5,367	5,500	5,5%
Verniz Nogueira	5,1	4,8	5		
	4,9	4,9	5		
	4,7	4,9	5		
Média	4,9	4,867	5	4,922	4,9%
Verniz incolor	5,8	5,8			
	5,5	5,5			
	5,7	5,8			
Média	5,667	5,7		5,683	5,7%
Origem	4,9	5,1	5,4		
	5,6	5,5	5,8		
	5	5,3	5,5		
Média	5,167	5,3	5,567	5,344	5,3%

Reflectâncias hemisférica-hemisférica medidas com o luminômetro

$$\rho_s = \frac{1}{2} \times \left[\rho p_1 \cdot \frac{L_{sup}}{L_{p1}} + \rho p_2 \cdot \frac{L_{sup}}{L_{p2}} \right]$$

 $\rho p_1, \rho p_2$ = reflectância difusa visível nos padrões 1 e 2 respetivamente 0,86 e 0,25 $L_{sup} = L_{prov}$. (L de Luminância) $L_{p1} = L_{cinz}$ $L_{p2} = L_{branco}$ ρ_s = Reflectância (difusa) da superfície caracterizada ao se utilizarem dois padrões de reflexão

Expostos célula	Lprov.	Lcinz	Lbranco	ph_h		
p1	22	46	157	0,120		
p2	30	42	138	0,183		
p3	25	38	125	0,168	0,1570	15,7%
Tinta Branco						
p1	150	45	160	0,820		
p2	138	43	139	0,828		
p3	124	37	128	0,836	0,8278	82,8%
Primário+Branco						
p1	138	41	142	0,839		
p2	126	36	126	0,868		
p3	122	34	116	0,901	0,8690	86,9%
Verniz Pinho						
p1	6	42	142	0,036		
p2	7	38	124	0,047		
p3	7	34	114	0,052	0,0452	4,5%
Verniz Nogueira						
p1	7	42	147	0,041		
p2	7	39	127	0,046		
p3	5	33	117	0,037	0,0416	4,2%
Verniz Incolor						
p1	7	40	138	0,044		
p2	6	36	120	0,042		
p3	-	-	-		0,0430	4,3%
Origem						
p1	7	41	145	0,042		
p2	9	39	129	0,059		
p3	8	33	116	0,060	0,0536	5,4%

ANEXO VIII

Excerto do quadro dos critérios de apreciação de ensaios de comportamento do ETAG 004

Ensaio	Classificação	Critério
Choque de 3 J, choque de 10 J e perfuração	Categoria I	Sem deterioração após choque de 3 J e de 10 J e sem perfuração com punção de 6 mm
	Categoria II	Sem penetração com choque de 10 J, sem fendilhação com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 12 mm
	Categoria III	Sem penetração com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 12 mm

ANEXO IX

Ensaio da reflectância solar

Ensaio 08-Out 10h53

Fachada Nascente	Directa+Difusa		
Horizontal	599,6	507,2	495,5

	Sem acabamento			
				Média
radiação incidente	636,2	638,4	639,2	637,9
radiação reflectida	191,4	212,4	196,3	200,0
reflectância	30,08	33,27	30,71	31,36

Fachada Sul	Directa+Difusa		
Horizontal	599,6	507,2	495,5

	Sem acabamento												
	Lado direito			Média	Centro da fachada			Média	Lado esquerdo			Média	
radiação incidente	580,2	588,0	647,3	605,2	569,2	579,9	581,5	576,9	576,5	591,5	590,0	586	
radiação reflectida	187,7	186,9	192,7	189,1	218,6	213,3	220,7	217,5	198,0	198,0	196,2	197,4	Média
reflectância	32,3509 1348	31,7857 1429	29,7698 1307	31,247 5902	38,404 7786	36,7822 0383	37,95 357	37,70 946	34,34 519	33,47 422	33,25 424	33,68 601	34,21 435

Fachada Poente	Directa+Difusa		
Horizontal	517,9	517,2	514,4

Fachada Poente

	Sem acabamento			Média	Verniz escuro			Média	Verniz claro			Média	Tinta branca			Média
radiação incidente	76,9	77,9	78,2	77,7	68,80	69,1	69,1	69,0	60,6	61,1	61,2	61,0	56,7	57,4	57,5	57,2
radiação reflectida	19,6	19,4	17,9	19,0	3,3	3,5	3,6	3,5	11,3	9,9	9,9	10,4	25,5	21,3	24,4	23,7
reflectância	25,487 64629	24,903 72272	22,890 02558	24,420 60086	4,796 51163	5,065 12301	5,20 9841	5,02 4155	18,6 4686	16,2 0295	16,1 7647	17,0 0383	44,9 7354	37,1 0801	42,4 3478	41,4 9184

13h54

Fachada Nascente	Directa+Difusa		
Horizontal	654,0	666,2	655,2

	Sem acabamento			
				Média
radiação incidente	110,5	111,0	111,8	111,1

radiação reflectida	23,1	25,8	25,4	24,8
reflectância	20,90497738	23,24324324	22,71914132	22,29222922

Fachada Sul	Directa+Difusa		
Horizontal	654,0	666,2	655,2

Sem acabamento													
Lado direito				Média	Centro da fachada				Média	Lado esquerdo			Média
radiação incidente	787,2	785,8	789,5	787,5	790,9	791,9	793,5	792,1	783,5	791,2	785,1	786,6	
radiação reflectida	215,7	215,8	207,2	212,9	246,2	237,5	231,4	238,4	237,2	228,6	226,6	230,8	Média
reflectância	27,4009 1463	27,4624 5864	26,2444 5852	27,0349 2063	31,1290 934	29,9911 605	29,16 194	30,0 93	30,27 441	28,89 282	28,86 257	29,34 147	28,82 313

Fachada Poente	Directa+Difusa		
Horizontal	677,2	675,1	675,3

Fachada Poente

Sem acabamento		Média	Verniz escuro			Média	Verniz claro			Média	Tinta branca			Média		
radiação incidente	232,9	230,4	231,1	231,5	252,1	248,2	254,4	251,6	242,0	246,0	242,6	243,5	271,8	266,3	264,9	267,7
radiação reflectida	80,4	75,6	82,5	79,5	48,8	56,1	48,0	51,0	99,4	91,0	93,9	94,8	195,6	194,4	192,2	194,1
reflectância	34,521 25376	32,8 125	35,698 83167	34,346 19816	19,35 73979	22,602 73973	18,8 6792	20,2 5971	41,0 7438	36,9 9187	38,7 0569	38,9 1322	71,9 6468	73,0 0038	72,5 5568	72,5 0311

16h09

Fachada Nascente	Difusa		
Horizontal	521,7	523,2	529,8

Sem acabamento				
			Média	
radiação incidente	86,3	86,1	86,8	86,4
radiação reflectida	14,5	13,8	16,6	15,0
reflectância	16,801854	16,02787456	19,12442396	17,32253086

Fachada Sul	Directa+Difusa		
Horizontal	521,7	523,2	529,8

Sem acabamento													
Lado direito				Centro da fachada				Média	Lado esquerdo			Média	
radiação incidente	593,0	586,7	592,5	590,7	593,3	594,4	589,8	592,5	587,5	584,5	581,1	584,3	667
radiação reflectida	192,3	179,5	195,5	189,1	224,8	208,1	242,0	225,0	202,7	199,2	188,0	196,6	Média
reflectância	32,4283 3052	30,5948 5257	32,9957 8059	32,011 0597	37,889 7691	35,0100 9421	41,03 086	37,96 906	34,50 213	34,08 041	32,35 244	33,64 896	34,54 303

Fachada Poente	Directa+Difusa		
Horizontal	505,1	596,4	493,4

Fachada Poente

	Sem acabamento			Média	Verniz escuro			Média	Verniz claro			Média	Tinta branca			Média
radiação incidente	684,1	683,0	681,3	682,8	682,3	684,3	683,1	683,2	703,5	697,3	706,7	702,5	712,7	701,9	705,2	706,6
radiação reflectida	201,2	186,4	188,7	192,1	32,0	34,6	38,5	35,0	173,6	176,6	176,6	175,6	477,2	469,8	457,0	468,0
reflectância	29,410 90484	27,291 36164	27,697 04976	28,134 15349	4,690 01905	5,0562 61873	5,63 6071	5,12 758	24,6 7662	25,3 2626	24,9 8939	24,9 9644	66,9 5664	66,9 3261	64,8 0431	66,2 3266

ANEXO X

Artigo submetido e aceite para uma comunicação oral:

Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis
5, 6 e 7 de Março de 2014
Guimarães, Portugal

ESTUDO EM CONDIÇÕES REAIS E EM LABORATÓRIO DA APLICAÇÃO EM EXTERIOR DO AGLOMERADO DE CORTIÇA EXPANDIDA

Maria Roseta^{1*}; Carlos Pina dos Santos²

1: Departamento de Engenharia Civil
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Rua Conselheiro Emídio Navarro, nº1, 1959-007 Lisboa

2: Departamento de Edifícios
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Avenida do Brasil, nº 101, 1700-066 Lisboa

Palavras-chave: Aglomerado de cortiça expandida, revestimento exterior, viabilidade, estudo laboratorial, exposição real.

Resumo. O interesse do estudo sobre a aplicação do aglomerado de cortiça expandida como revestimento exterior surge da constatação de dois fatores críticos numa perspetiva de desenvolvimento sustentável: a utilização de um produto constituído por um recurso natural – a cortiça – e a preocupação em contribuir para uma maior sustentabilidade na construção. No estudo pretende-se avaliar a viabilidade da sua utilização através da análise do seu comportamento sob diferentes condições. Sendo esta solução relativamente recente, pois apenas utilizada há cerca de dez anos, ainda há muito a conhecer sobre a fiabilidade das suas características a longo prazo. É neste contexto que este estudo visa aprofundar e confirmar aspetos, alguns deles mal estudados, e que têm a ver com as características que poderão fazer deste material também uma boa escolha enquanto revestimento exterior. A análise dessas características e de outras está a ser realizada em condições reais de exposição, numa célula experimental no LNEC, e em laboratório. Nesta comunicação apresentam-se os resultados em laboratório sobre aquelas características e compara-se com os resultados da sua aplicação na realidade.