



Universidade de Aveiro
2017

Departamento de Engenharia Civil

**Carla Alexandra
Marinho Melo**

**Métodos Não Destrutivos para Análise de
Revestimentos – Estratégias de Intervenção**



**Carla Alexandra
Marinho Melo**

**Métodos Não Destrutivos para Análise de
Revestimentos - Estratégias de Intervenção**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Luísa Lomelino Velosa, Professora Associada com agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. [Doutor](#) Joaquim Miguel Gonçalves Macedo
professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

o júri

Vogal

Prof. [Doutor](#) António José Barbosa Samagaio
professor associado com agregação do Departamento Urbano da Universidade de Aveiro

o júri

vogal

Prof.^a [Doutora](#) Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
professora associada com agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Esta dissertação representa uma segunda etapa do meu percurso académico, uma fase, que por consequência da recente conjuntura económica, apercebi-me da necessidade de atualizar conhecimentos com vista à concretização de novas oportunidades profissionais.

Desta forma, quero expressar o meu profundo agradecimento a:

À professora Ana Velosa, minha orientadora da Universidade de Aveiro, pela motivação e apoio demonstrado ao longo deste período, e pela disponibilidade na revisão do documento.

À engenheira Maria Carlos, pela transmissão de conhecimentos práticos e apoio na realização da campanha experimental.

Ao engenheiro João Dias da Xpectraltek, pela disponibilidade e cedência do equipamento multiespectral, quanto à obtenção das leituras espectrais e tratamento da imagem RGB.

Aos meus amigos que, de uma forma ou de outra, me transmitiram confiança e incentivaram na conclusão desta segunda etapa académica.

Ainda quero agradecer à minha antiga entidade empregadora RIPORTICO, Lda, ao qual sempre demonstraram apoio e incentivaram na conclusão desta etapa académica.

E, por último, à minha família, em especial á minha adorável mãe, pela amizade, motivação e constante acompanhamento demonstrados durante esta fase do percurso académico.

palavras-chave

Ensaio laboratoriais, Factores de variação, Coeficiente de absorção capilar, Propriedades Hígricas, Teor de humidade de Saturação Capilar, Teor volúmico de Absorção de Água, Ensaio Não Destrutivos, Imagem Termográfica, Assinatura Espectral.

Resumo

A água é um dos principais agentes de degradação dos materiais de construção, que potencia a diminuição do desempenho ao longo do seu período de vida.

Das pesquisas feitas sobre danos por humidade, resultaram várias metodologias de determinação das propriedades hígricas dos materiais, que permitem facilmente avaliar os parâmetros dos revestimentos superficiais, do ponto de vista qualitativo e quantitativo.

No presente trabalho, determinou-se laboratorialmente as propriedades hígricas de cinco materiais de construção (tijolo, calcário, granito e dois tipos de adobe), de acordo com ensaios normalizados, tendo sido monitorizados os resultados, com recurso a equipamentos não destrutivos.

O presente trabalho, tem uma componente prática quanto à utilização de equipamentos não destrutivos, que em conjunto com os resultados laboratoriais permitem uma melhor avaliação, quanto à evolução da humidade e comparar qual dos materiais de construção, possui melhor comportamento.

Com recurso ao software do fabricante da câmara termográfica, permitiu a compilação e tratamento de termogramas e histogramas, que comprovam os resultados obtidos aquando o ensaio de absorção de água, e outros casos de estudo. Com recurso ao equipamento multiespectral, detetou-se que é na banda dos 750 nm, que permite visualizar mais quantidade de água, pelo contrário, a banda que menos visualiza a água é aos 400 nm. Em consequência do contraste das duas bandas, consegue-se identificar a humidade por uma imagem RGB.

Keywords

Laboratory tests, Variation Factors, Capillary Absorption Coefficient, Hydric Properties, Capillary Saturation Moisture Content, Water Absorption Volumetry, Non Destructive Tests, Thermographic Image, Spectral Signature

Abstract

Water is one of the main agents of degradation of building materials, which boosts the decrease of performance over its lifetime.

From research on moisture damage, several methodologies have been used to determine the hydric properties of the materials, which make it possible to easily evaluate the parameters of surface coatings from a qualitative and quantitative point of view.

In the present work, the water properties of five building materials (brick, limestone, granite and two types of adobe) were determined in laboratory, according to standardized tests, and the results were monitored using non-destructive equipment.

The present work has a practical component regarding the use of non-destructive equipment, which together with the laboratory results allow a better evaluation of the evolution of humidity and compare which of the building materials has better behavior.

Using the software of the manufacturer of the thermographic camera, it allowed the compilation and treatment of thermograms and histograms, which prove the results obtained during the water absorption test, and other case studies. With the use of multispectral equipment, it was detected that it is in the band of 750 nm, which allows to see more amount of water, on the contrary, the band that least visualises the water is at 400 nm. As a result of the contrast of the two bands, moisture can be identified by an RGB image.

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	ix
Índice de Gráficos.....	xiii
SIMBOLOGIA	0
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Estrutura e organização da dissertação	1
2. Principais Danos / Tipos de degradação em Revestimentos de Fachadas.....	3
2.1. Ilustração das causas das anomalias não estruturais mais relevantes nos revestimentos da fachada.....	3
2.1.1. Humidade	3
2.1.2. Destacamento do revestimento	5
2.1.3. Erosão do revestimento	6
2.1.4. Alteração da pigmentação do revestimento	6
2.1.5. Colonização biológica	7
2.1.6. Fissuração / Fendilhação	7
2.2. Monitorização	10
2.2.1. Introdução	10
2.2.2. Monitorização de uma edificação	10
3. Ensaaios não destrutivos	11
3.1. Classificação de ensaios não destrutivos	11
3.2. Metodologia com Equipamento medidores de corrosão	11
3.3. Metodologia com equipamento de Ultra - sons	12
3.4. Metodologia com detetor de armaduras	13
3.5. Metodologia com recurso ao equipamento de medição do teor de água em materiais de construção	13
3.6. Metodologia por ação mecânica: dispositivo eletro ou oleomecânico	13
3.7. Metodologia do ensaio de aderência (Pull – Off).....	13
3.8. Metodologia do esclerómetro	14
3.9. Metodologia com equipamentos de monitorização de vibrações	14
3.10. Metodologia de diagnóstico por reação química	14
3.11. Metodologia com recurso a tratamento com células bacterianas	15
3.12. Termografia infravermelho aplicada em diagnóstico de fachadas de edifícios.....	16
4. Imagem Espectral	19
4.1. Breve história.....	19
4.2. Espectro eletromagnético	19
4.3. Metodologia com recurso a imagem multiespectral.....	24
5. Exigências funcionais na construção ou reabilitação	29
5.1. Normalização dos materiais de construção em Portugal e sua evolução na União Europeia.....	29
5.2. Enquadramento Legal em Portugal versus Normalização Europeia	36
5.3. Metodologias de determinação das Propriedades Hígricas, para materiais com função de revestimentos superficiais	37
5.3.1. Introdução.....	37

5.3.2.	Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo as Normas NF B 10502 e DIN 52 617	39
5.3.3.	Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a Norma EN 1015-18	41
5.3.4.	Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a Norma EN ISO 15148	42
5.3.5.	Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a AFNOR	43
5.3.6.	Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a Norma EN 772-11 ou EN 772-7	44
5.3.7.	Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo CEN / CT 139	44
6.	Características dos materiais em estudo e sua origem.....	45
6.1.	Adobe	45
6.1.1.	Introdução	45
6.1.2.	Vantagens e desvantagens de uma construção em adobe.....	47
6.1.3.	Resultados de estudos realizados no adobe, com recurso a metodologias de ensaios	47
6.2.	Rochas	49
6.2.1.	Introdução	49
6.2.2.	Vantagens e desvantagens de uma construção em rocha	50
6.2.3.	Resultados de estudos realizados nas rochas, com recurso a metodologias de ensaios	50
6.2.3.1.	Resistência: Ensaio com o esclerómetro	50
6.2.3.2.	Dureza.....	51
6.2.3.3.	Qualidade da rocha	52
6.2.3.4.	Porosidade da rocha.....	53
6.3.	Tijolo	54
6.3.1.	Introdução	54
6.3.2.	Vantagens e desvantagens do tijolo cerâmico	56
6.3.3.	Resultados de estudos realizados nos tijolos ou blocos, com recurso a metodologias de ensaios normalizados	56
7.	Comportamento hídrico dos materiais de construção usados em revestimentos exteriores	61
7.1.	Capilaridade.....	61
7.2.	Coeficiente de capilaridade	66
8.	Ensaio laboratorial.....	69
8.1.	Introdução.....	69
8.2.	Procedimento de ensaio de imersão parcial.....	69
8.2.1.	Materiais utilizados no Ensaio.....	71
8.2.2.	Resultados do ensaio de absorção de água do tijolo.....	72
8.2.3.	Resultados do ensaio de absorção de água do calcário	76
8.2.4.	Resultados do ensaio de absorção de água do adobe “Aldeia Nova”.....	80
8.2.5.	Resultados do ensaio de absorção de água do adobe “Duarte Lemos”	83
8.2.6.	Resultados do ensaio de absorção de água do granito.....	87
8.2.7.	Conclusão quanto aos resultados obtidos do coeficiente de capilaridade	92
8.3.	Imersão total	96
8.3.1.	Procedimento de ensaio	96
8.3.2.	Determinação da Porosidade e da massa volúmica aparente	98
8.3.3.	Determinação do Teor de Humidade e Percentagem de Absorção de Água..	100

8.3.4.	Determinação do raio dos poros para cada material.....	101
8.3.5.	Conclusão quanto aos resultados obtidos após imersão total.....	102
9.	Ensaio com equipamentos não destrutivos	105
9.1.	Ensaio com o Humidímetro.....	105
9.1.1.	Vantagens e desvantagens na utilização do humidímetro	106
9.1.2.	Síntese dos resultados obtidos no tijolo com o humidímetro, aquando o ensaio de absorção capilar de água.....	106
9.1.3.	Síntese dos resultados obtidos com o humidímetro no tijolo, após o ensaio por imersão	108
9.1.4.	Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de Granito.....	109
9.1.5.	Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de Calcário.....	109
9.1.6.	Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de adobe “Aldeia Nova”	110
9.1.7.	Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de adobe “Duarte de lemos”.....	110
9.1.8.	Conclusão do Ensaio com Humidímetro.....	111
9.2.	Ensaio com o equipamento Câmara Termográfica.....	111
9.2.1.	Vantagens e desvantagens na utilização da Câmara Termográfica.....	113
9.2.2.	Resultados obtidos com a Câmara Termográfica Testo 875-2, caso estudo do paramento da Igreja da Trofa.....	116
9.2.3.	Efeito de radiação infravermelha no tijolo	119
9.2.4.	Efeito da radiação infravermelha no granito	126
9.2.5.	Efeito da radiação infravermelha no calcário.....	130
9.2.6.	Efeito da radiação infravermelha no adobe “Aldeia Nova”	134
9.2.7.	Efeito da radiação infravermelha no adobe “Duarte Lemos”.....	138
9.2.8.	Termogramas dos materiais sujeitas às mesmas condições ambientais	140
9.2.9.	Conclusão das leituras termográficas obtidas.....	147
9.3.	Ensaio com o Equipamento Multiespectral “XpeCAM X01”.....	150
9.3.1.	Equipamento multiespectral XpeCAM X01.....	150
9.3.2.	Vantagens e desvantagens do equipamento multiespectral.....	151
9.3.3.	Metodologia de ensaio com equipamento multiespectral.....	152
9.3.4.	Resultados do ensaio com equipamento multiespectral	152
9.3.5.	Conclusão dos resultados obtidos com equipamento multiespectral	157
10.	Conclusão	159
	Referências Bibliográficas.....	161

Índice de Figuras

Figura 1 Tiras de teste analítico, [3].....	15
Figura 2 Prova colorimétrica para avaliar a espessura do betão afetado pelo fenómeno da carbonatação	15
Figura 3 Remoção mecânica da suspensão bacteriana: a) a radiação UV; b) antibacteriano, [5]	15
Figura 4 Solda a laser micro de Niti a) micrografia) células bacterianas testar, (c) detalhes da imagem anterior, [5]	16
Figura 5 Pormenor da varanda do 1.º andar. a) Imagem visual; b) Imagem térmica com a mesma escala de temperatura; c) Imagem térmica com uma pequena escala de temperaturas, [4]	16
Figura 6 Equipamento que emite radiação eletromagnética no domínio ótico, [17].....	16
Figura 7 Classificação do espectro e seu comprimento de onda, [21]	20
Figura 8 Níveis de Resolução espectral, [21]	22
Figura 9 Imagem espectral de banda larga, multiespectral, hiperspectral e ultraspectral, [21]	22
Figura 10 Classificação do espectro monocromático e seu comprimento de onda, [21]	23
Figura 11 Diagrama de cromaticidade, Fonte: Sistema RGB da CIE, 1931	24
Figura 12 Avaliação da largura da fissura em cada ponto ao longo do comprimento da descontinuidade, Fonte: Valença, J. et al, [35].....	25
Figura 13 Fotografia com as três classes de elementos estudados, [36].....	26
Figura 14 Análise multiespectral: a) divisão em três classes, b) mapa da colonização biológica, Valença, J. et al [36].	26
Figura 15 Sistema de controlo de qualidade da argila, [37]	26
Figura 16 Equipamento multiespectral, a aferir a posição, perfil e largura do carril ferroviário	27
Figura 17 Equipamento multiespectral, a aferir inspeções nas faixas rodoviárias	27
Figura 18 Pirâmides Egípcias	45
Figura 19 Cidade de Harappa	45
Figura 20 Muralha da China, [50]	45
Figura 21 Monumento Nacional: Igreja da Trofa, Panteão Nacional dos Duarte de Lemos ...	46
Figura 22 Planta da Igreja da Trofa, Panteão Nacional dos Duarte de Lemos.....	46
Figura 23 Casa Senhorial “Duarte de Lemos”, Trofa, Águeda, distrito de Aveiro, amostra para ensaios laboratoriais	46
Figura 24 Percentagens de material retido nas respetivas aberturas de peneiros. Fonte: Varum, H. et al, [54].....	48
Figura 25 Ciclo de formação de rochas, [56].	49
Figura 26 Torre de Belém, [57]	49
Figura 27 Basílica da Estrela, [58]	49
Figura 28 Aldeia histórica de Piódão	50
Figura 29 Construção de um arco para passagem pedonal em xisto, Piódão.....	50
Figura 30 Mesquita de Samarra, Iraque, construída Sec. IX, muro de tijolo com 10 metros de altura e 2,65 m de espessura, [62]	55
Figura 31 Antiga Fábrica Cerâmica Campos, construída em 1916, [63]	55
Figura 32 Praça dos Touros, Campo Pequeno construída em 1892, [64]	55
Figura 33 Blocos acústicos com Leca®, com aplicação de barreiras acústica [70], [71]	56
Figura 34 Comportamento em termos de refração do som, no paramento.....	57

Figura 35 Esquema de habitação, com identificação de possíveis pontes térmicas. Fonte: Itecons, [72].	59
Figura 36 Temperatura interior de uma parede simples, com isolamento térmico, Fonte: Freitas, 2002, [73].	59
Figura 37 Fenómeno da Capilaridade, Fonte: Silva, E. (adaptado de Freitas et al, 2008), [46]	61
Figura 38 Porosidade aberta,	62
Figura 39 Porosidade fechada	62
Figura 40 Tamanho dos poros, segundo International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC	62
Figura 41 Classificação dos poros consoante a maior facilidade de circulação: a) poros fechados; b e f) poros cegos; c, d e g) poros abertos; poros abertos em dois lados, [47].	62
Figura 42 Ilustração do fenómeno da capilaridade, dependendo do raio capilar. Fonte: Maropoulou et al (2016), [74].	63
Figura 43 Ilustração do fenómeno da capilaridade côncava ou convexa. Fonte: Martin Krus, Verlag (1996), [75].	63
Figura 44 Processo de circulação da água, ao nível de vários índices de humidade, Fonte: Martin Krus (1996), [75].	64
Figura 45 Recipientes com água, na zona de execução do ensaio	69
Figura 46 Fase da pesagem e medição da absorção de água	70
Figura 47 Materiais utilizados no ensaio de absorção de água; tijolo, granito, calcário e adobe	71
Figura 48 Imagens das amostras de tijolo, com a evolução da absorção de água	73
Figura 49 Imagens das amostras de calcário, com a evolução da absorção de água	76
Figura 50 Imagem das amostras de adobe “aldeia nova”, com a evolução da absorção de água	80
Figura 51 Imagens das amostras do adobe “Duarte Lemos”, com a evolução da absorção de água	84
Figura 52 Fases 1 do ensaio de absorção capilar (não atingiu o topo das amostras)	87
Figura 53 Fases 1 do ensaio de absorção capilar, (não atingiu o topo da amostra, no interior da câmara climática)	87
Figura 54 Imersão dos provetes, sob pressão, por um período aproximado de 48 horas	97
Figura 55 Pesagem hidrostática dos provetes por imersão, posterior pesagem da massa saturada e pormenor dos provetes a secar na estufa	97
Figura 56 Pesagem dos provetes com massa estabilizada (m_0), no interior da câmara climática	98
Figura 57 Marcação dos pontos isolados no Tijolo A, comprimento total de 22,9 cm	106
Figura 58 Monitorização da percentagem de humidade do tijolo A, B e C	107
Figura 59 Monitorização da percentagem da humidade do tijolo A, B e C, após ensaio por imersão	108
Figura 60 Monitorização da percentagem de humidade do granito A	109
Figura 61 Monitorização da percentagem de humidade do calcário A, B e C	109
Figura 62 Monitorização da percentagem de humidade do adobe "Aldeia Nova"	110
Figura 63 Monitorização da percentagem da humidade do adobe “Duarte de lemos”	110
Figura 64 Câmara Termográfica Testo 875-2	111
Figura 65 Detecção de elementos estruturais, inspeção diurna, IV 490 e IV 551	113
Figura 66 Detecção de infiltração não visível (inspeção diurna) IV 315 e IV 472	114
Figura 67 Detecção de inadequado isolamento da porta de acesso, IV 345	114
Figura 68 Detecção de pontes térmicas em fachadas, inspeção noturna (devido à transição entre diferentes materiais), IV 225	114

Figura 69 Avaliação da temperatura de um tanque, [17]	115
Figura 70 Aproximação de equipamentos elétricos, alteram os resultados dos termogramas	115
Figura 71 Esq.: imagem IR e real captada à noite, IV 228. Dir.: imagem IR e real captada de manhã. IV 496	115
Figura 72 Termogramas, IV 353, 19.06.2017, 16:10 h	116
Figura 73 Precipitação total, ocorrida em Junho de 2017. Fonte: IPMA, 3-07-2017, [78]....	118
Figura 74 Esq.: imagem IV 158 . Dir: imagem real IV 158: 14.06.2017, 16:31:17.....	120
Figura 75 Esq.: imagem IV 169, a 5 cm de absorção. Dir.: imagem real IV 169, 14.06.2017, 20:32:05.....	120
Figura 76 Esq.: imagem IV 170, com 10 a 12 cm de absorção, 14.06.2017; 20:32:15.....	121
Figura 77 Esq.: imagem IV 201, com mínimo de 10 a 12 cm de absorção na envolvente Direita: imagem real IV 201, 15.06.2017; 15:33:19.....	121
Figura 78 Esq.: Imagem IV 296, com mínimo de 21 cm de absorção capilar. Dir: imagem real IV 296, 18.06.2017; 10:55:23.....	122
Figura 79 Esq.: Imagem N.º 370, com água visível na superfície superior. Direita: Imagem real IV 370, 19.06.2017, 19:30:34.....	122
Figura 80 Software IR Soft: Escala de Percentagem de Humidade da câmara termográfica, Testo 875-2	123
Figura 81 Esq.: Imagem N.º420, com água visível na superfície superior. Direita: Imagem real IV 420, 20.06.2017, 12:24:33.....	124
Figura 82 Esq.. imagem IV 609, amostra B e C saturada por imersão. Dir.: imagem real IV 609, 7.07.2017; 18:52:11.....	125
Figura 83 Esq.. imagem IV 188, seleção superfície amostra A. Dir.: imagem IV 188, seleção pontos isolados nas amostras, fase inicial, 15.06.2017; 11:12:39.....	126
Figura 84 Esq.: imagem IV 234 na fase intermédia. Dir.: imagem real IV 234, 16.06.2017, 11:24:21	127
Figura 85 Esq.: imagem IV 245, fase intermédia. Dir.: imagem real IV 245, 16.06.2017, 16:21:17	127
Figura 86 Esq.: imagem IV 267 fase intermédia. Dir.: imagem real IV 267, 17.06.2017; 13:52:24.....	128
Figura 87 Esq.: imagem IV 368. Dir.: imagem real IV 368, 19.06.2017; 17:49:39.....	128
Figura 88 Esq.. imagem IV 463 (amostras B e C) saturadas por imersão. Dir.: imagem real IV 463, 20.06.2017, 22:14:03.....	129
Figura 89 Esq.. imagem IV 617 (amostra A saturada por imersão). Dir.: imagem real IV 617, 7.07.2017; 18:55:30.....	129
Figura 90 Termograma com identificação dos pontos isolados na face inferior, zona de transição entre escalas de diferente sensibilidade e face superior, imagem IV 252: 16.06.2017;19:56:13 h.....	130
Figura 91 Esq.: imagem IV 252, com 5 cm de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 252, fase inicial 16.06.2017; 19:56:13 h	130
Figura 92 Esq.: imagem n.º IV 271 com 12 a 13 cm de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 271, 17.06.2017; 13:53:28 h.....	131
Figura 93 Esq.: imagem IV 306, com água visível na superfície superior. Dir.: imagem real IV 306, 18.06.2017; 18:33:08 h.....	131
Figura 94 Esq.: imagem IV 363. Dir.: imagem real IV 363, 19.06.2017; 17:43:02 h.....	131
Figura 95 Esq.: seleção da área superficial IV 419, amostra A. Dir.: imagem real IV 419, 20.06.2017; 12:23:59.....	132
Figura 96 Esq.: imagem IV 618, em contacto com lâmina de água ao nível inferior. Direita: imagem real IV 618. 7.07.2017; 19:00:27 h.....	133

Figura 97 Esq.: imagem IV 621, sem contacto de lâmina de água ao nível inferior. Dir.: imagem real IV 621, 7.07.2017; 19:00:57 h.....	133
Figura 98 Esq.: imagem IV 270, antes do ensaio capilar. Dir.: imagem real IV 270, 17.06.2017, 13:53:13 h.....	134
Figura 99 Esq.: imagem IV 272, fase intermédia de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 272, 17.06.2017; 18:35:32.....	135
Figura 100 Esq.: marcação da superfície da amostra A na imagem IV 308, fase intermédia de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 308 (não é visível a presença de água na superfície), 18.06.2017; 18:45:30.....	135
Figura 101 Esq.: marcação da superfície da amostra A na imagem IV 377. Dir. imagem real (água alcançou topo superior da amostra), imagem IV 377. 19.06.2017; 19:33:42 h.....	136
Figura 102 Esq.: marcação da superfície da amostra A (fase de saturação por imersão total) na imagem IV 461, sendo as amostras B e C no estado de saturação por imersão parcial. Dir: histograma IV 461, da amostra A, 20.06.2017; 21:49:22 h.....	137
Figura 103 Termograma com identificação dos pontos isolados na face inferior, zona de transição entre escalas com diferente sensibilidade e face superior, imagem IV 311, 18.06.2017; 18:52:48 h.....	138
Figura 104 Esq.. imagem IV 311, fase intermédia. Dir.: imagem real IV 311, 18.06.2017; 18:52:48 h.....	138
Figura 105 Esq.. imagem IV 454, com amostras A e B (fase de saturação por imersão parcial) e amostra C (fase de saturação por imersão total). Dir.: imagem real IV 454, 20.06.2017; 21:30:50 h.....	138
Figura 106 Esq.: imagem IV 721. Dir.: Leitura termográfica com o fundo da imagem a cor preto e marcação do histograma.....	140
Figura 107 Esq.: imagem IV 722. Dir.: Leitura do termograma, sem fundo preto e marcação do histograma.....	141
Figura 108 termograma temperatura IV 715, Calcário.....	142
Figura 109 termograma temperatura IV 716, Calcário.....	143
Figura 110 Esq.: Real IV 710. Centro: termograma das amostras IV 710. Direita: histograma IV 710 da amostra A “duarte lemos”, que estiveram imobilizadas 48 horas no interior da câmara climática, após remoção da estufa a 105 ° C, 2.11.2017.....	145
Figura 111 Amostras de material que estiveram imobilizadas no interior da câmara climática, até dia 24.11.2017.....	146
Figura 112 Equipamento multiespectral marca Xpe-CAM XO1, Xpectraltek.....	150
Figura 113 Imagem resultante do contraste das bandas de 750 nm por 450 nm. Fonte: Xpectraltek.....	156
Figura 114 Imagem RGB, amostra tijolo fase final.....	156

Índice de Tabelas

Tabela 1 Causas dos principais tipos de manchas por ação da humidade, [3], [7], [28].....	4
Tabela 2 Levantamento das principais anomalias, por ação da humidade [3], [15], [28], [29]	5
Tabela 3 Anomalias nos revestimentos da fachada: destacamentos do reboco, [28], [29]	5
Tabela 4 Anomalias nos revestimentos de fachada: Erosão do revestimento, [28], [29].....	6
Tabela 5 Anomalias nos revestimentos de fachada: Alteração da pigmentação do revestimento, [3], [15]	6
Tabela 6 Anomalia nos revestimentos de fachadas: Colonização biológica, [3], [15], [28], [29]	7
Tabela 7 Ilustração de fissuração / fendilhação nos paramentos exteriores, [8]	8
Tabela 8 Levantamento das principais anomalias estruturais nas fachadas dos edifícios, [27], [28]	8
Tabela 9 Pormenor de algumas anomalias não estruturais nos revestimentos de fachada, [3], [28], [29].....	9
Tabela 10 Ilustração das causas das anomalias nos revestimentos da fachada, [20].....	9
Tabela 11 Principais métodos de ensaios não destrutivos, [5], [6], [8], [9], [11], [15], [21], [22];	11
Tabela 12 Ensaios Não destrutivos para medição da vibração das fachadas, [15].....	14
Tabela 13 Aplicações por Termografia Infravermelha, [2], [4], [11].....	17
Tabela 14 Sub-regiões da radiação infravermelha, Fonte: Ibarra – Castanedo et al, 2007; Clarke et al, 2003, [31].....	19
Tabela 15 Resposta espectral – Reflectância, Valença J. et al [36].....	26
Tabela 16 Lista de normas harmonizadas para rochas usadas nos paramentos. Fonte: Jornal Oficial da União Europeia, [42]	31
Tabela 17 Lista de normas harmonizadas para argamassas. Fonte: Jornal Oficial da União Europeia, [42]	31
Tabela 18 Norma harmonizada para tijolos cerâmicos para alvenaria. Fonte: Jornal Oficial da União Europeia, [42]	32
Tabela 19 Propriedades e normas de referência para os revestimentos de pedra com aplicação para os paramentos. Fonte: Rebola, Paula (2011), Cevalor e Ordem dos Engenheiros Sul, [44]	33
Tabela 20 Propriedades e normas de referência de argamassas para alvenaria, [43].....	34
Tabela 21 Propriedades e normas de referência do tijolo cerâmico para alvenaria.	35
Tabela 22 Critérios de apoio nos serviços de inspeção, com base em 44 estudos técnicos a argamassas, ensaiados sob distintas condições. Fonte: Colen, Inês Flores, [45]	38
Tabela 23 Características físicas das argamassas estudadas por Brás et al. Fonte: [44]	38
Tabela 24 Classificação dos materiais de construção em função do coeficiente de absorção de água, segundo norma DIN 52 617, [46 – Eduarda]	40
Tabela 25 Classificação dos materiais de construção em função do coeficiente de capilaridade segundo a norma francesa NF B 10502, e CSTB (entidade acreditada pela COFRAC) [46, 47]	40
Tabela 26 Classificação das argamassas em função do coeficiente de capilaridade, segundo Flores Colen (2009), [47]	41
Tabela 27 Classificação MERUS de argamassas pré-doseadas (segundo Veiga 2001 a) e Biga & Abrantes (2003), citados em Flores-Colen (2009), [47]	41
Tabela 28 Resultados das classes e Interpretação dos Resultados	41
Tabela 29 Resultados das classificações para a argamassa, EN 998-1	42

Tabela 30 Norma aplicável para o tijolo, EN 772-1 (EN 772-11 ou EN 772-7).....	44
Tabela 31 Classificação dos materiais de construção em função do coeficiente de absorção de água segundo a Comissão Técnica (CEN/CT 139)	44
Tabela 32 Vantagens e desvantagens da construção em adobe.....	47
Tabela 33 Vantagens e desvantagens da construção em rocha	50
Tabela 34 Classificação mineralógica da rocha, escala de Mohs (palito:1; Vidro: 5 a 5,5; Ferro:5,5).....	51
Tabela 35 Classificação expedita quanto à sua resistência ao serrar.....	51
Tabela 36 Resultados da variação da velocidade das ondas sísmicas longitudinais em função da porosidade, [59].	52
Tabela 37 Velocidades dos minerais V_{pi} , [59].....	53
Tabela 38 Velocidades padrões de rochas com porosidade nula, [59]......	53
Tabela 39 Valores de porosidade de solo e rochas	53
Tabela 40 Valores peso volúmico seco de algumas rochas	54
Tabela 41 Permeabilidade do solo e rochas	54
Tabela 42 Vantagens e desvantagens do Tijolo cerâmico	56
Tabela 43 Características do material cerâmico tradicional, (Tabela adaptada), [65]	58
Tabela 44 Características dos tijolos cerâmicos tradicionais, [65]. [69]	58
Tabela 45 Classificação dos poros segundo o seu diâmetro, [74].....	61
Tabela 46 Dimensões com os provetes das amostras cortadas.....	72
Tabela 47 Resultados do coeficiente de capilaridade do tijolo, metodologia 1	74
Tabela 48 Resultados do coeficiente de capilaridade do tijolo, metodologia 2	75
Tabela 49 Resultados do coeficiente de capilaridade do tijolo, metodologia 3	76
Tabela 50 Resultados do coeficiente de capilaridade do calcário, metodologia 1	78
Tabela 51 Resultados do coeficiente de capilaridade do calcário, metodologia 2	79
Tabela 52 – Resultados do coeficiente de capilaridade do calcário, metodologia 3	79
Tabela 53 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1	82
Tabela 54 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, metodologia 2	82
Tabela 55 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, metodologia 3	83
Tabela 56 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1	85
Tabela 57 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, metodologia 2	86
Tabela 58 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, metodologia 3	87
Tabela 59 Resultados do coeficiente de capilaridade do granito, metodologia 2.....	90
Tabela 60 Resultado do coeficiente de capilaridade do granito, metodologia 2	90
Tabela 61 Resultados do coeficiente de capilaridade do granito, metodologia 3.....	91
Tabela 62 Valores de coeficiente de capilaridade, determinado de acordo com o método AFNOR.....	92
Tabela 63 Coeficientes de variação pelos materiais, determinado de acordo com o método AFNOR.....	92
Tabela 64 Valores dos Coeficientes de capilaridade em função das fases consideradas	92
Tabela 65 Coeficientes de variação em função das distintas fases adotadas.....	93
Tabela 66 Características dos materiais de construção ensaiados	98
Tabela 67 Resultados das densidades e porosid	

ade aparente dos materiais ensaiados	99
Tabela 68 Resultados dos valores de teor de humidade de saturação por imersão parcial ou imersão total	101
Tabela 69 Síntese dos Resultados Obtidos do Ensaio de Absorção de Água.....	104
Tabela 70 Informações relevantes constantes no manual do utilizador, pelo fabricante	105
Tabela 71 Dígitos adotado no dispositivo de leitura, aquando o ensaio.....	105
Tabela 72 Vantagens e desvantagens da utilização do Humidímetro	106
Tabela 73 Resultados das leituras da amostra A, tijolo	107
Tabela 74 Resultados das leituras da amostra B, tijolo	107
Tabela 75 Resultados das leituras da amostra C, tijolo	108
Tabela 76 Resultados das leituras com humidímetro para tijolo saturado por imersão total .	109
Tabela 77 Resultados das leituras com humidímetro para granito saturado por imersão total	109
Tabela 78 Resultados obtidos com humidímetro, para saturação por imersão total	110
Tabela 79 Resultados das leituras com humidímetro para o adobe “Aldeia Nova” saturado por imersão total	110
Tabela 80 Resultados das leituras com o humidímetro para o adobe “Duarte Lemos” por imersão total	111
Tabela 81 Paleta de cores específicas, que traduzem as áreas mais suscetíveis ao perigo de fungos, [76].....	112
Tabela 82 Valores de emissividade e comprimento de onda de alguns materiais, [77]	112
Tabela 83 Resultados percentuais de humidade no paramento vertical	117
Tabela 84 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do tijolo	126
Tabela 85 Síntese dos valores percentuais de teor de humidade superficial no granito.....	130
Tabela 86 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do calcário	134
Tabela 87 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do adobe “Aldeia Nova”	137
Tabela 88 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do adobe “Duarte Lemos”	139
Tabela 89 Síntese das amostras no interior da câmara climática, após remoção da estufa a 105 ° C	144
Tabela 90 Lista de filtros do sistema XpeCAM x01 e respetivos comprimentos de onda e largura de banda.....	151

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Transmissão da radiação infravermelha na atmosfera, Fonte: Walker, 1998, [31]..	20
Gráfico 2 Espectro normalizado, da zona visível, [6]	21
Gráfico 3 Espectro não normalizado da zona visível, [6]	21
Gráfico 4 - Espectros obtidos para um mineral, utilizando distintos sensores: hiperespectral ou multiespectral, [21]	22
Gráfico 5 Resultados do ensaio ultra sons e resistência à compressão mecânica. Fonte: Varum, H. et al, [54]	48
Gráfico 6 Resistência da rocha, obtida por Ábaco, [59, 60]	51
Gráfico 7 Classificação da qualidade das rochas em função do seu estado de fissuração. Fonte: Formaintraux, [59, 60]	52
Gráfico 8 Assinatura espectral do Calcário. Fonte: Rocha, Fábio [60].	54
Gráfico 9 Representação típica da curva de adsorção isotérmica para materiais higroscópicos e com indicação aproximada dos diâmetros dos poros. Fonte: imagem adaptada, [75]	65
Gráfico 10 Curva de adsorção ou desadsorção da circulação da água	65
Gráfico 11 Metodologia de uma tangente, EN 1925. Fonte: imagem adaptada de A. Maropoulou et al, [74]	67
Gráfico 12 Metodologia de duas tangentes Normal 11/85. Fonte: imagem adaptada de A. Maropoulou, et al [74]	67
Gráfico 13 Metodologia as 30 minutos, UNI 10859. Fonte: imagem adaptada de A. Maroupolou, et al [74]	67
Gráfico 14 Curvas de absorção de água, entre dois materiais com posicionamentos trocados. Esq.. 2 cm material 1 / 18 cm material 2. Dir.: 2 cm material 2 / 18 cm material 1. Fonte: figura 53 e 54 adaptadas, [75].	68
Gráfico 15 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras de tijolo: A, B e C	73
Gráfico 16 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de tijolo, metodologia 1	74
Gráfico 17 Traçado da linha de regressão linear da amostra B de tijolo, metodologia 1	74
Gráfico 18 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de tijolo, metodologia 1	74
Gráfico 19 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de tijolo, metodologia 2	75
Gráfico 20 Traçado da linha de regressão linear das amostras de tijolo, metodologia 3	75
Gráfico 21 Curva de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras de Calcário A, B e C	77
Gráfico 22 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de calcário, metodologia 1	77
Gráfico 23 Traçado da linha de regressão linear da amostra B do calcário, metodologia 1	77
Gráfico 24 Traçado da linha de regressão linear da amostra C, metodologia 1	77
Gráfico 25 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de calcário, metodologia 2	78
Gráfico 26 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de calcário, metodologia 3	79
Gráfico 27 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo das amostras de adobe “Aldeia Nova”, A, B e C	81
Gráfico 28 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1	81
Gráfico 29 Traçado da linha de regressão linear da amostra B de adobe “Aldeia Nova”,	81
Gráfico 30 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1	81

Gráfico 31 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 2	82
Gráfico 32 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 3	83
Gráfico 33 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras de adobe “Duarte Lemos” A, B e C, metodologia 1.....	84
Gráfico 34 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1	85
Gráfico 35 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1	85
Gráfico 36 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1	85
Gráfico 37 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 2	86
Gráfico 38 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 3	86
Gráfico 39 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras do granito A, B e C.....	88
Gráfico 40 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de granito, metodologia 2.....	89
Gráfico 41 Traçado da linha de regressão linear da amostra B de granito, metodologia 2.....	89
Gráfico 42 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de granito, metodologia 2.....	89
Gráfico 43 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de granito, metodologia 2 (Câmara climática)	89
Gráfico 44 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de granito, metodologia 2 ...	90
Gráfico 45 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de granito, metodologia 3 ...	91
Gráfico 46 Dispersão do Coeficiente de Absorção Capilar das amostras individuais dos materiais	93
Gráfico 47 Curva de absorção de água dos materiais.....	94
Gráfico 48 Velocidade em função dos tempos de absorção de água.....	95
Gráfico 49 Distribuição dos poros capilares de cada material, ao longo do ensaio de absorção de água.....	102
Gráfico 50 Síntese dos resultados médios das propriedades hígricas dos materiais de construção ensaiados, no laboratório.....	103
Gráfico 51 Histogramas de avaliação quantitativa dos teores de humidade no paramento, IV 353, a iniciar na base inferior da fundação a P4, ao longo do paramento vertical	117
Gráfico 52 Análise da variação percentual da humidade, em função da sua localização, IV 353	117
Gráfico 53 Evolução diária da temperatura do ar de 1 a 30 de Junho de 2017 (Vermelho: temperatura máxima; Verde: temperatura média; Azul: temperatura mínima). Fonte: IPMA, [78]	118
Gráfico 54 Esq.: histograma do tijolo A, IV 158, início do ensaio de absorção capilar; Dir.: histograma do tijolo A, IV 169, fase intermédia de absorção capilar	121
Gráfico 55 Esq.: histograma do tijolo A, IV 170. Dir.: histograma do tijolo A, IV 201.....	122
Gráfico 56 Esq.: imagem N.º 296, histograma da amostra A, fase intermédia de absorção capilar. Dir.: imagem N.º 370, histograma da amostra A, saturação por absorção capilar. ...	123
Gráfico 57 Esq.: imagem IV N.º 420, histograma da amostra A.....	124
Gráfico 58 Esq.: Histograma da amostra B, imagem IV 609. Dir.: Histograma da amostra C, imagem IV 609	125
Gráfico 59 Histograma imagem IV 188, amostra A.....	127
Gráfico 60 Esq.. histograma imagem IV 234. Dir.: histograma imagem IV 245.....	127

Gráfico 61 Esq.: histograma da imagem IV 267. Dir.: histograma da imagem IV 368	128
Gráfico 62 histograma IV 463, amostra B. Dir.: histograma IV 617, amostra A.....	129
Gráfico 63 Esq.: Histograma IV 252, amostra A. Dir.: Histograma IV 271, amostra A.....	131
Gráfico 64 Esq.: histograma imagem IV 306. Dir.: histograma imagem IV 363.....	132
Gráfico 65 Histograma da amostra A, calcário, imagem IV 419	132
Gráfico 66 Esq.. histograma imagem IV 618, amostra A. Dir.: histograma imagem IV 621, amostra A.....	133
Gráfico 67 Esq.. histograma da imagem IV 270, amostra A. Dir.: histograma da imagem IV 272, amostra A.....	135
Gráfico 68 Histograma da amostra A, imagem IV 308. Dir.: Histograma da amostra A, imagem IV 377	136
Gráfico 69 histograma imagem IV 461, amostra A (fase da saturação por imersão total)	137
Gráfico 70 Esq.: imagem IV 311, amostra A (fase imersão parcial). Dir.: imagem IV 454, amostra A (fase imersão total).....	139
Gráfico 71 Histograma da amostra C, (fase de saturação por imersão total), IR 454	139
Gráfico 72 histograma humidade IV 720, Tijolo	140
Gráfico 73 histograma humidade IV 715, Calcário.....	140
Gráfico 74 histograma humidade IV 721, Adobe	141
Gráfico 75 histograma humidade IV 719, Tijolo	141
Gráfico 76 histograma humidade IV 716, Calcário.....	141
Gráfico 77 histograma humidade IV 722, Adobe	142
Gráfico 78 histograma temperatura IV 720, Tijolo	142
Gráfico 79 histograma temperatura IV 715, Calcário	142
Gráfico 80 histograma temperatura IV 721, Adobe	143
Gráfico 81 histograma da temperatura IV 719, Tijolo	143
Gráfico 82 histograma da temperatura IV 716, Calcário.....	143
Gráfico 83 histograma da temperatura IV 722, Adobe	143
Gráfico 84 Esq.. histograma tijolo, amostra C, IV 739. Dir.: histograma adobe “duarte lemos”, amostra A, IV 739, que estiveram imobilizadas no interior da câmara climática até 24.11.2017	146
Gráfico 85 Esq.. histograma granito, amostra A, IV 739. Dir.: histograma calcário, amostra C, IV 739, que estiveram imobilizadas no interior da câmara climática até 24.11.2017.....	146
Gráfico 86 Efeito da Radiação Infravermelha durante o ensaio de absorção de água, dos materiais	147
Gráfico 87 Ganho de teor volúmico de humidade, em função dos materiais e humidade relativa máxima	148
Gráfico 88 Assinatura espectral, fase inicial	153
Gráfico 89 Assinatura espectral, fase intermédia	153
Gráfico 90 Assinatura espectral, fase final.....	153
Gráfico 91 Análise espectral, nos pontos isolados 1 e 7, para as três fases do ensaio de absorção de água do tijolo	154
Gráfico 92 Assinatura espectral Tijolo estado natural.....	155
Gráfico 93 Assinatura espectral do Tijolo na fase intermédia do ensaio	155
Gráfico 94 Mapeamento: distribuição dos pixéis, no alinhamento vertical marcado no Bloco	156

SIMBOLOGIA

C ou A_w	coeficiente de absorção de água por capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-0,5}$)
H	altura de ascensão capilar (m)
r	raio médio do poro capilar, (m)
σ	tensão superficial do líquido ($72,75 * 10^{-3}$ N/m à temperatura ambiente a 20 °C)
θ	ângulo de contacto com a água (para líquidos é 0°)
ρ	massa volúmica da água
g	aceleração por gravidade, $9,8 \text{ m/s}^2$
M	massa do provete (kg)
M_0	massa do provete seco (kg)
M_i	massa inicial do provete (kg)
M_t	massa do provete no tempo t (kg)
M_{cap}	massa do provete saturado por absorção capilar (kg)
M_{sat}	massa do provete saturado por imersão total (kg)
D	massa volúmica aparente
M_{ap}	massa volúmica aparente determinada pelo método hidrostático
P_{ap}	porosidade aberta determinada pelo método da pesagem hidrostática
W_{cap}	teor volúmico de saturação capilar (kg/m^3)
W_{sat}	teor volúmico de saturação imersão (kg/m^3)
A	área da superfície do provete em contacto
$\% W_{\text{cap}}$	teor percentual de humidade, imersão parcial (%)
$\% W_{\text{sat}}$	teor percentual de humidade, imersão total (%)

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A comunidade científica e técnica têm feito esforços significativos no sentido de permitir a utilização de técnicas não destrutivas em ensaios. Atendendo à preocupação crescente dos donos de obra com a qualidade e a durabilidade das construções que se promovem e dada a necessidade de obter e analisar informação, surgiu um novo segmento de mercado, tornando-se uma oportunidade para os técnicos de Engenharia Civil, dentro do sector da reabilitação, no que diz respeito aos que executam operações específicas de levantamento, caracterização de edifícios e estruturas correntes, controlo da qualidade da construção ou das intervenções realizadas e diagnósticos de anomalias. A presente tese tem como objetivo a investigação de recentes aplicações de métodos não destrutivos para análise de revestimentos, separadas por uma fase inicial de investigação e outra fase posterior de aplicação.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem uma componente prática laboratorial com o objetivo de estudar as propriedades hígricas de alguns materiais de construção, que consiste em caracterizar o coeficiente de absorção de água, a evolução do teor volúmico de humidade de alguns materiais de construção civil, entre outros parâmetros, por forma a comparar mais eficazmente os distintos materiais. Aquando o ensaio laboratorial, foram utilizados distintos equipamentos não destrutivos, por forma a monitorizar os resultados das propriedades hígricas obtidos, analisar as vantagens e desvantagens dos vários equipamentos utilizados, e avaliar a respectiva fiabilidade sempre que a sua utilização em obra. Esta dissertação tem ainda como objetivo o uso do equipamento multi-espectral, por forma a aferir se constitui uma forma alternativa e eficaz da análise da humidade.

1.3. Estrutura e organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em dez capítulos, nomeadamente: introdução, principais danos / tipos de degradação em revestimentos de fachadas, ensaios não destrutivos, imagem espectral, exigências normativas e metodologias utilizadas para avaliar o comportamento relacionado com a humidade nos materiais, caracterização dos materiais em estudo e sua

origem, comportamento higríco dos materiais ensaiados, monitorização da humidade superficial durante o ensaio de absorção de água.

O capítulo 1 introduz o enquadramento ao tema da dissertação.

O capítulo 2 refere as anomalias e as causas das degradações físicas nos revestimentos.

O capítulo 3 identifica alguns ensaios não destrutivos, destacando a imagem termográfica no diagnóstico de fachadas de edifícios e o recurso a células bacterianas para detetar microfissuras de superfícies em soldaduras.

O capítulo 4 desenvolve a caracterização da imagem espectral nas várias regiões e sub-regiões e classifica os espectros e o seu comprimento de onda. Apresentam-se pesquisas sobre imagem multiespectral, com aplicações na área da engenharia civil, nomeadamente no levantamento rigoroso associados à inspeção de qualidade.

O capítulo 5 aborda as exigências normativas funcionais na construção em Portugal, descrevendo algumas regras que a Comissão Europeia estabeleceu, com a divulgação das normas europeias para os países aderentes à União Europeia. Foram seleccionados alguns revestimentos que se encontram abrangidos por normas harmonizadas, tendo sido identificados as suas propriedades e categorias de classificação.

O capítulo 6 descreve as vantagens e desvantagens, bem como a origem e caracterização genérica dos materiais de construção, que serão ensaiados no laboratório.

O capítulo 7 consiste na apresentação de distintas metodologias para determinar a taxa de absorção de água, forma de avaliação da porosidade dos materiais, investigação sobre o processo de evolução da circulação de água nos materiais higroscópicos e a sua relação com a variação da massa e variação do teor de humidade.

O capítulo 8 caracteriza a atividade experimental desenvolvida em laboratório, a compilação dos resultados obtidos e a conclusão.

O capítulo 9 apresenta os resultados da monitorização aquando do ensaio de absorção de água, com recurso ao humidímetro, câmara termográfica e equipamento multiespectral e enumera as vantagens e desvantagens em cada um dos equipamentos utilizados e uma conclusão do capítulo. Foi ainda identificado a causa do dano do revestimento superficial do paramento do monumento nacional, a Igreja da Trofa, com recurso a termogramas e histogramas.

No capítulo 10 é apresentada a conclusão final da dissertação.

2. PRINCIPAIS DANOS / TIPOS DE DEGRADAÇÃO EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS

As anomalias nos revestimentos de paredes podem ocorrer com argamassas correntes ou não tradicionais. Os revestimentos correntes são executados em obra, enquanto os industriais são caracterizados por serem pré doseados em fábrica.

A Comissão Europeia definiu procedimentos a ter em conta no processo de produção para alguns materiais de construção, para que possam ser vendidos no mercado interno europeu, com a marcação CE. Esta alteração obriga os empresários a um constante conhecimento por forma a rever os documentos exigidos e por forma a atualizar a marcação CE dos produtos. Desde 1/06/2012 é obrigatório que as argamassas comercializadas tenham marcação CE, em cumprimento com a EN 998-2:2010: Especificação de argamassas de alvenaria, sendo a parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores e a parte 2: Argamassas de assentamento, [16]. Estas novas exigências de marcação CE, assegura padrões de controlo e qualidade para as novas edificações, evitando danos por má execução das argamassas. Existem danos tanto em elementos estruturais como em elementos não estruturais, revestimentos e acabamentos, [25].

2.1. Ilustração das causas das anomalias não estruturais mais relevantes nos revestimentos da fachada

No decorrer do período de vida de uma construção antiga são, frequentemente, referenciadas insuficiências ou discordância do seu desempenho, face às exigências a que deveria obedecer. Essas insuficiências podem ter origem aquando na própria construção, devido a erros de projeto ou de execução, devido à ação dos agentes de deterioração, que se identificam como sendo a água, as variações de temperatura, a poluição atmosférica, a biodeterioração ou provocadas pela alteração de circunstâncias externas, [15].

2.1.1. Humidade

As mudanças de cor devido a diferentes teores de humidade com várias origens: construção, solo, precipitação, fenómenos de higroscopicidade ou causas aleatórias são desastrosas, [3]. A ausência de manutenção ao nível dos telhados, facilita a penetração da água da chuva e

consequentemente origina a deterioração de materiais, em particular os elementos de revestimento e das alvenarias, a maioria das manchas nas fachadas começam por afetar a aparência, sendo que em presença de água, contribuem para uma degradação física do revestimento, [3], [7], [27], [28].

Tabela 1 Causas dos principais tipos de manchas por ação da humidade, [3], [7], [28].

Ilustração da anomalia	Anomalia e sua descrição	Causas	Observações
Manchas de Humidade			
	Manchas de humidade ascendente nas fachadas;	Ausência de impermeabilização entre fundação e parede; utilização de materiais de parede de fundação com menor capacidade drenante; tapamento das “gateiras” que permitiam a ventilação na base das fundações; elevado teor de humidade no solo;	Alterações no material e/ ou alterações na geometria dos elementos por perda da sua capacidade funcional na estrutura;
	Manchas escuras, em especial em zonas orientadas a norte ou sombreamentos;	Escorrências habituais de água numa mesma área, por ação da água, nomeadamente: junto aos canos de águas pluviais ou saliências de fachadas;	Alteração da cor do revestimento, por mancha escura
	Manchas de humidade por infiltração nas fachadas	Problemas de impermeabilização no topo das paredes exteriores e interiores em construções com platibandas, falta de manutenção das coberturas; falta de impermeabilização do revestimento da fachada; falta de impermeabilização na zona das caves ou dos pisos em relação ao exterior; falta de impermeabilização junto aos vãos;	Alterações no material e/ ou alterações na geometria dos elementos por perda da sua capacidade funcional na estrutura;
	Manchas de humidade no paramento interior	Condensação do vapor de água que está em contacto com o revestimento ou no seu interior; Redução das espessuras das paredes antigas, pois a grande espessura da parede permitia períodos de humedecimento e de secagem segundo as estações do ano, sem que as humidades se manifestassem no interior; Insuficiente impermeabilização do paramento exterior;	Condensação; Alterações do paramento interior, sobretudo através de presença de bolores, fungos e salitre;
	Manchas fantasmas; Manchas por sujidade	Estas manchas são um caso particular de manchas de sujidade, porque são normalmente associados a problemas higrotérmicos nas paredes.	Deposição de pó não uniforme na parede, que permite a visualização dos tijolos e a estrutura de diferenciação

A composição e acabamento dos revestimentos (p. ex. tinta), protege a camada superficial dos agentes externos, nomeadamente as variações climatéricas. Os compostos básicos das tintas são constituídos por resinas, pigmentos, solventes e aditivos, variando a proporção da distribuição destes compostos com o acabamento desejado, [23].

A ventilação natural é um fator importante para a conservação dos edifícios [7]. As manchas têm início por presença de água e se continuar a existir retenção da água sem o arejamento suficiente, prejudica os níveis de resistência dos materiais constituintes, com consequências de danos ainda mais gravosos, conforme demonstra a Tabela 2.

Tabela 2 Levantamento das principais anomalias, por ação da humidade [3], [15], [28], [29]

Ilustração da Anomalia	Anomalia e sua descrição
Anomalias associadas a Eflorescências e Criptoflorescências	
	Eflorescência / criptoflorescência (cor branca) - presença de depósito cristalino fracamente aderente de sais solúveis (sulfatos, cloretos, nitratos, carbonatos), na superfície do revestimento (eflorescência), ou entre a superfície e o fundo (criptoflorescência) causada por água migração / evaporação.
Anomalias associado a Higroscopicidade	
	Higroscopicidade – existência de sais higroscópicos no interior dos revestimentos que retêm a água em elevadas quantidades.
Anomalias associadas a Carbonatação	
	Carbonatação (cor branca) - incrustações de superfície de sais de carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio resultantes a partir de produtos de cimento, dissolvidos pela água infiltrada e convertido numa forma não solúvel, devido à exposição de superfície em dióxido de carbono (CO ₂). A carbonatação é um dos mecanismos mais correntes de deterioração, que se manifesta no betão armado.

2.1.2. Destacamento do revestimento

As alterações do paramento, também se manifestam e sobretudo através da presença de fissuras e/ou destacamento, que são potenciadas quer pela ação de ciclos de molhagem / secagem complementada pela ação das amplitudes térmicas durante o dia e a noite ou pela perda das camadas superficiais devido a ação da chuva, vento e efeitos da temperatura ou animais sobre o revestimento, [29].

Tabela 3 Anomalias nos revestimentos da fachada: destacamentos do reboco, [28], [29]

Ilustração da anomalia Associada ao destacamento	Causas da anomalia
Perda de aderência	
	Má qualidade do revestimento: Preparação incorreta do produto/adições ao produto: Amassado com excesso de água, Reamassado do produto parcialmente endurecido; Presença de humidade: falta de disposições construtivas que impeçam a proteção dos paramentos; Presença de sais; Movimentos de suporte; Dilatações / contrações térmicas (variações dimensionais do reboco); falta de limpeza da superfície a ser revestida; composição inadequada de argamassa; falta de rugosidade do suporte; falta de água na amassadura; Insuficiente permeabilidade ao vapor de água do revestimento; Elevada impermeabilidade à água do suporte; Insuficiente permeabilidade ao vapor de água do revestimento; Aplicação sobre um suporte inadequado ou mal preparado muito quente, com humidade insuficiente ou saturado de água;

2.1.3. Erosão do revestimento

A erosão do revestimento, deve-se ao facto do paramento se encontrar submetido a fatores externos adversos, pelo que consequentemente vai perdendo a sua resistência mecânica ao longo do tempo.

Tabela 4 Anomalias nos revestimentos de fachada: Erosão do revestimento, [28], [29]

Ilustração da anomalia Associada ao destacamento	Causas da anomalia
Erosão, [29]	
	Humidade seguida de cristalização de sais; Reboco inadequado, sem dureza superficial; Reação química entre os materiais constituintes dos revestimentos e os agentes de deterioração naturais (vento, chuva e variações de temperatura); Artificiais (poluição); Perda de coesão ou desagregação;

2.1.4. Alteração da pigmentação do revestimento

A oxidação, a poluição, a utilização de tintas ou marcadores alteram a pigmentação dos revestimentos, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5 Anomalias nos revestimentos de fachada: Alteração da pigmentação do revestimento, [3], [15]

Ilustração da Anomalia	Anomalia e sua descrição
Anomalias associadas a manchas por oxidação	
	Corrosão (cor amarela e / ou laranja) - alterações cromáticas na superfície do paramento vertical, resultantes das ligações dos elementos metálicos, que são transportadas por água.
Anomalias associadas a Carbonatação	
	Na degradação dos materiais de construção, os poluentes responsáveis são, o dióxido de enxofre e as partículas sólidas. O dióxido de carbono, pode atingir concentrações muito elevadas em zonas industriais e densamente povoadas, exerce também uma ação agressiva sobre alguns materiais, estando na origem da carbonatação das construções do betão armado. Os óxidos de azoto (NO ₂), têm origem na queima de hidrocarbonetos, e podem chegar a produzir ácidos nítricos e nitroso. O ácido clorídrico, o amoníaco e o ácido fluorídrico podem estar presentes, perante a proximidade de indústrias químicas.
Anomalias associadas a manchas por alteração da pigmentação do revestimento inicial	
	As alterações na uniformidade da cor na forma de manchas, alterações cromáticas ou perda de brilho e / ou cor (destruição total ou parcial da pigmentação das tintas).
	Graffiti - pintura ou outra superfície sobre a parede devido a várias tintas ou marcadores, que são absorvidas pelos materiais porosos.

2.1.5. Colonização biológica

A presença prolongada de humidade e a falta de uma ventilação adequada, potenciam a biodeterioração, [29]. Existem inúmeros edifícios históricos colonizados, com diversas formas de degradação biológica, que podem envolver mecanismos de deterioração. Presentemente, existem técnicas que permitem identificar o biocida (produto químico) mais adequado para combater o problema em edifícios que apresentem indícios de colonização biológica em paredes. Quando o biocida é mal selecionado, poderão induzir reações químicas indesejáveis na superfície, [10]. O problema da colonização biológica em geral "não está a ser tratado, nos cadernos de encargos das obras, de forma adequada", pelo facto de não se conhecer com precisão qual o biocida certo a utilizar, [26]. Aguarda-se, portanto, que os Donos de Obra reflitam sobre o custo de oportunidade, na medida em que se poderia evitar perdas de tempo, gastos monetários excessivos e danos para o meio ambiente.

Tabela 6 Anomalia nos revestimentos de fachadas: Colonização biológica, [3], [15], [28], [29]

Ilustração da Anomalia	Anomalia e sua descrição
Anomalias associadas a Bio deterioração	
	Fungos - microrganismos biológicos devido à presença de água prolongada (humidade relativa superior a 70%) em fachadas menos expostas ao sol, dependendo da existência de nutrientes (matéria orgânica).
	Vegetação parasitária (verde, amarelo, laranja e / ou cor azul) - microrganismos biológicos (algas microscópicas) e outros crescimentos biológicos (líquenes, musgos e outras plantas e árvores de pequeno porte (por exemplo, trepadeiras)), na presença de luz e humidade; sendo plantas, são capazes de produzir nutrientes de água, minerais cristalização na superfície e CO ₂ .
	Depósitos superficiais (ácidos e sais solúveis) resultantes de aves excrementos (pombos), fornecendo nutrientes para o desenvolvimento dos microrganismos e organismos biológicos.

2.1.6. Fissuração / Fendilhação

Nas alvenarias construídas por distinto material miúdo, a falta de ligação entre os paramentos resulta numa perda de resistência mecânica, potenciando a redução da resistência à compressão de uma parede, para cerca de metade da resistência correspondente a uma parede com um único pano de alvenaria devidamente travada com perpianos, [15]. As anomalias estruturais podem ser motivadas quer por ações sísmicas, proximidade de taludes instáveis,

novas construções vizinhas de grande porte, assentamentos de solo, deformações impostas à construção por proximidade de árvores de elevado porte, construção sobre camada de fundação superficial de solo sensível à humidade e que não está impermeabilizada, [27].

Tabela 7 Ilustração de fissuração / fendilhação nos paramentos exteriores, [8]

Ilustração da Anomalia	Anomalias e sua descrição
Anomalias associadas a Fissuração / Fendilhação	
	<p>A falta de ligação entre os elementos constituintes dos panos exteriores reduz significativamente a resistência mecânica da parede, iniciando-se pela micro fissuração, que pode ser estável ou não.</p> <p>As anomalias em revestimentos de paredes não mudam significativamente os danos dos próprios suportes, apesar de existirem alguns aspetos específicos, tais como a retração das argamassas, devido à presença de ligante hidráulico ou ao efeito da humidade no seu percurso interior da parede [8].</p>

As entidades nacionais e internacionais mais reconhecidas, são a ASTM, o ACI, o RILEM e o CEB, [15]. A forma de classificar as anomalias apresentadas pelas estruturas pode ser encarada de diversos aspetos: grau de deterioração, parte da construção, origem da deterioração, período de vida da construção, ou mecanismo de deterioração, [30].

Tabela 8 Levantamento das principais anomalias estruturais nas fachadas dos edifícios, [27], [28]

Designação da anomalia	Descrição da anomalia	Designação da anomalia	Descrição da anomalia
Sobrecargas devidas à introdução de elementos ornamentais	Adição de elementos ornamentais pesados à fachada	Eliminação parcial de nembos	Vários nembos de uma parede da fachada foram removidos
Redução da seção útil das pernas de madeira da cobertura	A seção do elemento sofre uma redução	Arenização e erosão da argamassa de assentamento	A argamassa de assentamento perde coesão e desagrega-se
Fendas inclinadas na alvenaria, fraturas de cantarias	O troço da parede entre nembos vizinhos apresenta-se deformado e fendido. As cantarias apresentam-se fraturadas.	Perda de elementos das paredes em frontal	Alguns elementos do frontal perdem-se
Desalinhamento ou desaprumo das cantarias	As cantarias dos vãos e do piso ao nível do segundo andar apresentam-se desalinhadas.	Deformação excessiva das abóbadas	A abóbada apresenta um abatimento excessivo
Redução da espessura das alvenarias	A seção foi substancialmente reduzida	Fendas nas abóbadas	As abóbadas apresentam uma fenda longitudinal, ao longo de um dos rins
Redução da seção das pilastras	A seção da pilastra está reduzida	Fendas inclinadas junto a um cunhal	O nembro junto ao cunhal apresenta fendas com uma inclinação dominante

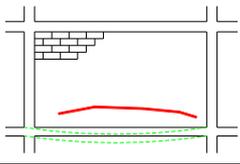
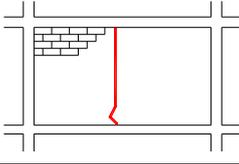
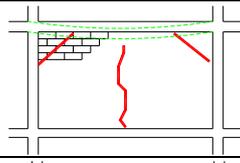
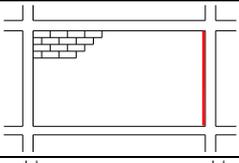
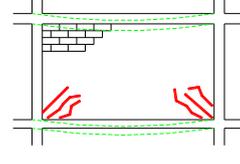
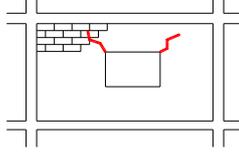
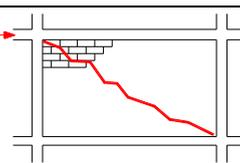
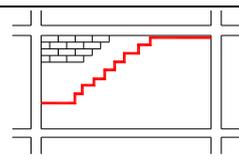
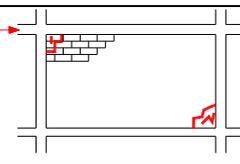
A Tabela 9, permite ilustrar os pormenores de danos mais relevantes nos revestimentos de reboco.

Tabela 9 Pormenor de algumas anomalias não estruturais nos revestimentos de fachada, [3], [28], [29]

Ilustração da anomalia	Anomalias e sua descrição	Causas
	Fissuração aleatória, sem orientação preferencial e de pequena largura (mapeada)	Retração de secagem inicial Má prática de execução; Aplicação em condições muito seca (calor, suporte muito absorvente); Dosagem inadequada; Deficiente cura; Muito cimento; Adição de ligante; Aplicação em camadas de espessura exagerada; Excesso de água na amassadura;
	Fissuração de traçado contínuo ao longo das junções de materiais de suporte diferentes	Variações dimensionais diferenciais desses materiais
	Fissuração diagonal a partir dos cantos de vão abertos	Enfraquecimento do suporte Deformação dos panos de parede, por insuficiente entrega das vergas existentes ou inexistência de vergas
	Fissuração com orientação horizontal, nas zonas de assentamento	Expansão da argamassa das juntas de assentamento, pela ação dos sulfatos contidos nos tijolos, blocos ou na argamassa ou introduzidas pela água

A Tabela 10 demonstra de forma resumida, as principais causas estruturais e não estruturais nos revestimentos e respetivo comportamento característico da fissuração / fendilhação

Tabela 10 Ilustração das causas das anomalias nos revestimentos da fachada, [20]

Ilustração da causa e fissuração	Causa	Ilustração da causa e fissuração	Causa
	Flexão dos elementos de suporte		Retração
			
			Concentração de tensões
	Movimentos Estruturais		Variações térmicas
			

2.2. Monitorização

2.2.1. Introdução

Desde 1992 que a norma ISO 9712 define as condições de qualificação e certificação dos técnicos que fazem ensaios não destrutivos. Os técnicos, podem certificar a sua inspeção com recurso à análise espectral, visto ser uma ferramenta de diagnóstico e controlo de qualidade.

Para reduzir as anomalias num determinado edifício, será necessário proceder a um levantamento e observar repetidamente, por forma a detetar o surgimento das anomalias e se estão ou não estabilizadas.

Presentemente, é possível proceder à instalação de sensores em locais pré-definidos, a ligar a uma rede de dados, que por sua vez se interliga com uma central que referencia todos os instrumentos e faz a recolha dos dados, podendo ser atualizados e disponibilizados on-line, através da internet sem fios, satélite ou rádio, [18].

2.2.2. Monitorização de uma edificação

O património cultural edificado está sujeito a diversos fatores de degradação ao longo do tempo nos seus materiais de construção e características, que, em conjunto, afetam a sua durabilidade. A análise desses fatores é essencial para o estudo dos danos e permite elucidar a informação obtida através de ensaios.

A tomada de decisão deve procurar a seleção de materiais de conservação compatíveis e a avaliação do seu desempenho sobre o impacto e sustentabilidade socio – económica, pelo que é fundamental o conhecimento da estrutura do edifício e dos seus materiais constituintes, [19].

Existem obras em que se implementam planos de monitorização, para que durante a fase de exploração da obra, se recolham os resultados das inspeções visuais e leituras dos dispositivos de monitorização instalados aquando na fase de construção, [18], [27].

Após a construção da obra, a estrutura e os materiais deveriam ser monitorizados, em especial, após as reparações efetuadas, de modo a verificar regularmente a eficácia e a durabilidade dos materiais. Deveriam ser programadas intervenções complementares, definidas num plano de manutenção, com distribuição ao longo do tempo, por forma a assegurar a eficácia e durabilidade da construção, [29].

3. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

3.1. Classificação de ensaios não destrutivos

Ainda não existe uma única técnica não destrutiva capaz de detetar todos os tipos de defeitos para todos os tipos de materiais, pelo que antes de qualquer avaliação, deverá ser escolhida a melhor técnica, de acordo com as propriedades físicas do material. A combinação de um número de técnicas NDT é considerado como um dos modos mais adequados para melhorar a qualidade do diagnóstico de edifícios, [9].

De um modo geral apresenta-se os métodos não destrutivos mais comumente utilizados nesta área da atividade e que são:

Tabela 11 Principais métodos de ensaios não destrutivos, [5], [6], [8], [9], [11], [15], [21], [22];

Principais métodos de END	Variantes dos principais métodos de END		
Correntes induzidas (CI)	Convencionais; Pulsadas		
Inspeção Visual (IV); Líqu. Penetrantes (LP); Partículas magnéticas (PM)			
Radiológicos	Raios – X; Raios – γ (gamma); Radiografia digital; Tomografia computadorizada;		
Ultra sons (US): equipamentos portáteis	De contato	Sem contato	Sem contato
	Convencionais; Phased Array; TOFD	Convencionais de eco EMAT pulsado	Com acoplante de ar ou água
Suspensões de células bacterianas	Identifica os defeitos de superfície micro através do uso de células bacterianas		
Termografia Infravermelha (IRT)	Ativa: gere as diferenças de temperatura com um estímulo externo, como qualquer tipo de fonte de calor externa, tais como lâmpadas, fornos e compressas quentes (termografia pulsada (PT, PPT); termografia lock-in (LT)). Passiva: mede as diferenças de temperatura de uma estrutura que ocorre em condições normais		
Imagem Hiperspectral (espectro)	Espectros de baixa resolução, pancromático, multiespectral, hiperspectral e alta resolução espectral		

3.2. Metodologia com Equipamento medidores de corrosão

A técnica consiste em detetar a corrosão ativa das armaduras através da medição dos potenciais elétricos em obra. Para tal, tem de se escolher uma área em função do estado aparente do betão e definem-se zonas de leitura da área a estudar. Depois, com recurso a um detetor de armaduras identificam-se os furos realizados com recurso a um berbequim e limpa-se a armadura. Seguidamente, fixa-se o eletrodo secundário à armadura e liga-se o eletrodo ao voltímetro, através do cabo fornecido. Procede-se à molhagem da superfície onde se vão

realizar as leituras, de forma a humedecer em profundidade o betão a estudar. Fixa-se o eletrodo primário sucessivamente em cada ponto da leitura, medindo-se, no voltímetro do equipamento, o potencial elétrico. Existem ainda, sistemas de monitorização de forma a controlar a evolução do estado de proteção das armaduras contra a corrosão, por meio de sensores [15].

3.3. Metodologia com equipamento de Ultra - sons

O ensaio consiste na colocação de sensores emissores e recetores na superfície a analisar, em dois pontos de medida, com vista a obter as características mecânicas, homogeneidade ou presença de defeitos. O impulso ultrassónico gerado sobre a superfície em estudo através dum transmissor emissor, a partir de um sinal elétrico, atravessa o betão e é captado por um recetor, que o transforma novamente em sinal elétrico. O tempo gasto no percurso é medido eletronicamente na unidade de medida central, sendo assim possível determinar a velocidade de propagação, [15] e [11].

Existem diversos sistemas portáteis ultra - sónicos, que permitem realizar os seguintes ensaios:

- Ensaio por transparência, permite determinar as características elásticas da alvenaria e são efetuadas aplicando uma carga num determinado ponto da alvenaria e medindo no ponto exatamente oposto.
- Ensaio de baixa frequência, permite ensaiar elementos de alvenaria em condições muito deficientes, frequentes em trabalhos de restauro e reparação, ou em casos de espessuras muito grandes.
- Ensaio no interior dos furos.

As velocidades de propagação das ondas dependem das características do material que atravessam e refletem indiretamente o seu estado de conservação. Materiais mais degradados ou de coesão mais fraca apresentam valores de velocidade de propagação inferiores aos de materiais compactos ou menos degradados. A presença de água nos espaços vazios modifica as características de propagação das ondas sónicas no meio, pelo que esse efeito deverá ser tido em conta na análise dos resultados obtidos em medições sucessivas de materiais que possam apresentar variações no seu teor de água, [11].

3.4. Metodologia com detetor de armaduras

O equipamento é um aparelho portátil a pilhas e constituído pela unidade de leitura, sendo de fácil utilização, pois basta posicionar o aparelho á superfície a analisar, e fazer um percurso linear (como um scanner), permitindo a indicação precisa da armadura, a avaliação do seu diâmetro e recobrimento, [9], [15].

3.5. Metodologia com recurso ao equipamento de medição do teor de água em materiais de construção

Deteta a presença de humidade e mede o teor de água em materiais de construção e permite conhecer os seus teores de humidade e detetar a existência de eventuais infiltrações, ainda que estas não sejam visíveis, [9].

Ainda para a avaliar a humidade superficial da parede, pode ser utilizado um aparelho portátil, dotado de dois eléctrodos pontiagudos, que se posicionam, ao longo de uma malha marcada na superfície. Por outro lado, para a medição da humidade no interior das paredes (semi invasiva), comercializam-se kits de ensaio, que consiste em executar um orifício com cerca de 5 cm de profundidade e continua-se até atingir o terço central da parede. Os detritos de tijolo, pedra ou argamassa, que forem retirados resultantes da furação, são recolhidos e uma certa quantidade é colocada no depósito metálico do aparelho, para obter a percentagem da humidade, [15].

3.6. Metodologia por ação mecânica: dispositivo eletro ou oleomecânico

São aplicados dispositivos eletro ou oleomecânicos com vista a realização de determinadas medições, que se podem caracterizar por ensaios semi invasivos, sendo para tal necessário executar, nesse elemento, em certos casos, entalhes ou outras modificações (ex.º ensaios de macacos planos ou dos ensaios pressiométricos), [15].

3.7. Metodologia do ensaio de aderência (Pull– Off)

Neste tipo de ensaio é colada uma placa metálica à superfície previamente preparada de um elemento de betão, que através de equipamento específico é arrancada medindo-se a força de rotura do betão, que se relaciona através de ábacos são convertidos numa tensão de compressão de betão, viabilizando assim a avaliação deste, [15].

3.8. Metodologia do esclerómetro

O esclerómetro é um aparelho usado, para estimar a resistência e dureza superficial de um material ou comparar a qualidade de materiais, [15] e [11].

3.9. Metodologia com equipamentos de monitorização de vibrações

A análise das vibrações de uma fachada, permite avaliar de forma rápida a integridade estrutural e pode ser feito de duas maneiras, nomeadamente; análise de dados quanto à resposta dinâmica da construção às solicitações dinâmicas que constantemente lhe são impostas pela envolvente: passagem de viaturas, metro, comboios, entre outros ou aplicação de vibrações forçadas à construção (produzindo níveis de vibrações que não afetem a sua integridade) e registo da resposta, [15].

Tabela 12 Ensaios Não destrutivos para medição da vibração das fachadas, [15]

Equipamentos de monitorização de fachada	Metodologia
Equipamento para medição das vibrações nas fachadas: formado por um hardware, 4 acelerómetros, 4 cabos de ligação, 4 rolos de cabo, 2 caixas de ligação de sensores, 1 caixa de ligação principal e o PC portátil.	Os sinais dos 4 tradutores são introduzidos no PC dotado de software, que executa o processamento dos dados e fornece a informação para a monitorização das vibrações. Possibilita monitorizar vibrações induzidas por tráfico ou por máquinas.
Micro-sismógrafo	Monitorização de vibrações provocadas por atividade humana, trânsito de veículos, maquinaria em funcionamento, etc.
Tecnologia a laser, sem contato, formado por equipamento portátil baseado em sensores de laser	O sistema é montado e o feixe de laser dirigido para cada um dos pontos a observar, não sendo necessários refletores no ponto alvo.

3.10. Metodologia de diagnóstico por reação química

Através de análises titrimétrica e colorimétrica, é possível no próprio local e de uma forma expedita e rápida, identificar os principais agentes agressivos presentes no solo ou nas águas de contacto com as construções, [15].



Figura 1 Tiras de teste analítico, [3].



Figura 2 Prova colorimétrica para avaliar a espessura do betão afetado pelo fenómeno da carbonatação

A carbonatação pode ser diagnosticada, pela utilização de um método colorimétrico baseado na coloração que o betão assume depois da superfície ser tratada com indicador de fenolftaleína. Esta metodologia consiste em determinar a profundidade de carbonatação do betão, [14], [15]. A solução em contacto com superfícies não carbonatadas, colorear-se-á de carmin e permanecerá incolor, se for afetado pelo fenómeno da carbonatação.

3.11. Metodologia com recurso a tratamento com células bacterianas

Esta metodologia inclui o uso de estripes bacterianas, designadamente na suspensão das mesmas, por forma a detetar micro defeitos de superfície (fissuras, poros), [5].

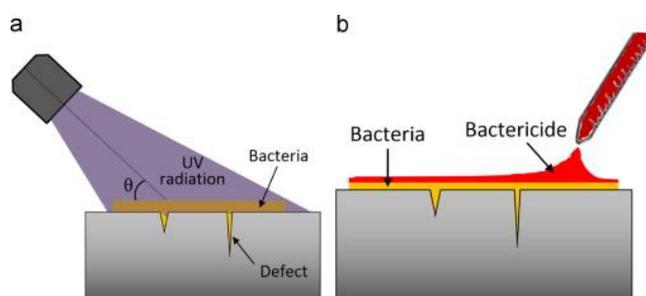


Figura 3 Remoção mecânica da suspensão bacteriana: a) a radiação UV; b) antibacteriano, [5]

A técnica NDT células bacterianas, permitirá avaliar se as bactérias não aderiram às zonas polidas, sendo que uma aplicação de campos magnéticos, melhora significativamente, a qualidade de observação, [5]. Através da localização preferencial de bactérias, é possível distinguir zonas com diferentes rugosidades e permite identificar micro defeitos localizados, por exemplo nas soldas de fusão. Esta metodologia, pode ser uma alternativa à técnica de Líquidos Penetrantes usados comumente, nas inspeções às soldaduras.

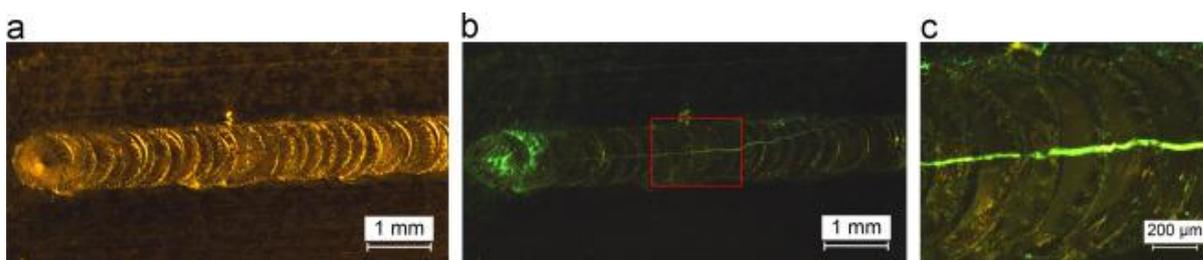


Figura 4 Solda a laser micro de NiTi a) micrografia) células bacterianas testar, (c) detalhes da imagem anterior, [5]

3.12. Termografia infravermelho aplicada em diagnóstico de fachadas de edifícios

A técnica da termografia IR tem sido aplicada há mais de 30 anos, para o monitorização de edifícios de forma qualitativa e quantitativa, tendo sido inclusive analisado a alvenaria maciça do Arsenal histórico de Veneza, com recurso a um fluxo de calor gerado pelo limite natural (passivo) ou com recurso a fluxo de calor artificial (ativa), tendo sido criado nessa altura um equipamento específico, por forma a armazenar quantidade de informação, [1].

Atualmente, a aplicação da radiação infravermelha ou termografia nas fachadas pode ser com o uso de câmaras termográficas infravermelhas para visualizar ou medir a energia térmica que é emitida por todo objeto ou material existente na natureza. É portanto, uma técnica de análise que permite averiguar a temperatura de um determinado corpo ou região através da deteção da radiação infravermelha emitida. A figura 6, ilustra um equipamento que faz a leitura da emissão de calor e transforma numa imagem (figura 5), cuja coloração indica a temperatura. Cada nível de energia é representado numa imagem de cor, [13].

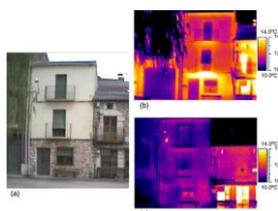


Figura 5 Pormenor da varanda do 1.º andar. a) Imagem visual; b) Imagem térmica com a mesma escala de temperatura; c) Imagem térmica com uma pequena escala de temperaturas, [4]



Figura 6 Equipamento que emite radiação eletromagnética no domínio ótico, [17]

A tabela 13, apresenta inúmeras aplicações do uso da termografia.

Tabela 13 Aplicações por Termografia Infravermelha, [2], [4], [11]

Aplicações	Permite a avaliação não destrutiva com uso de espectros, por termografia Infravermelha
Aplicação a estruturas compósitas	. fissuras de materiais metálicos; defeitos subsuperficiais; deteção in situ de destacamentos de pinturas de muros; deteção de deslocamentos de remendos de reparação em compósito
Monitorização e manutenção	. identificação das tubagens (águas quentes ou frias) no interior das paredes; localização e avaliação das utilidades subterrâneas.
Vibrotermografia	. deteção de defeitos, rachaduras, fissuras e delaminação em amostras sólidas, metálicas e estruturas compostas.
Termomecânica	. Permite análise de stress termoelástico de materiais compósitos, avaliação dos danos termomecânicos dos materiais compósitos, medição do comportamento de fadiga em metais.
Industriais	. detetar conexões soltas ou danificadas, de instalações elétricas; deteção de falta ou isolamento danificado de equipamentos mecânicos; deteção de superaquecimento de equipamentos mecânicos; avaliação da operação de aquecimento, ventilação, ar condicionado e energias renováveis.
Meio Ambiente	. detetar os níveis de humidade no solo; detetar os níveis de atividade microbiana;. detetar locais de eliminação de resíduos;. monitorizar a atividade do vulcão.
Biomédicas	. amplo emprego no campo da medicina.
Termofísica	. usado para caracterizar a difusividade térmica e a condutibilidade e dilatação térmica linear.
Construção Civil	. Detetar perdas de calor; detetar defeito de isolamento térmico; detetar pontes térmicas; detetar fugas de ar; detetar as fontes de humidade; localizar as instalações elétricas e o seu estado; inspecionar equipamentos mecânicos; localizar instalações de águas no interior dos elementos de construção; defeitos nos pavimentos rodoviários; defeitos nas estruturas de betão armado.

4. IMAGEM ESPECTRAL

4.1. Breve história

Em 1929, Tihanyi inventou a primeira câmara sensível infravermelha, tendo sido utilizada na defesa militar anti aérea, no final da II guerra mundial, uma técnica de extrema importância pelo facto de permitir a visão no escuro, [4]. A nível orbital, em 1972, os satélites passaram a transmitir dados por onda de rádio, com o espectro multitemporal e multiespectral.

Atualmente, existem dois modelos para implementar análise multiespectral de imagem, de acordo com a forma de aquisição da resposta espectral: espectro de resposta gráfica (2D) e resposta de imagem estereoscópica (visão 3D).

4.2. Espectro eletromagnético

Na Tabela 14 apresenta-se a subdivisão da radiação infravermelha.

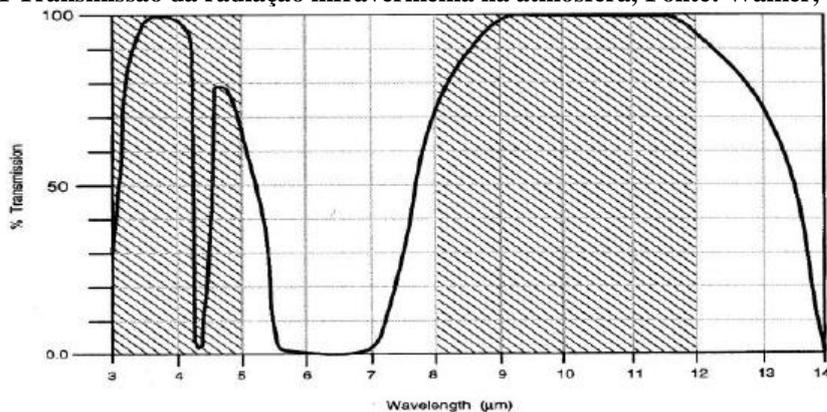
Tabela 14 Sub-regiões da radiação infravermelha, Fonte: Ibarra – Castanedo et al, 2007; Clarke t al, 2003, [31].

Sub-região	Comprimento de onda (μm)
Próximo - NIR	0,75 a 1
Curto - SWIR	1 a 3
Médio - MIR	3 a 5
Longo - LWIR	8 a 14
Muito Longo - VLWIR	14 a 1000

O intervalo espectral compreendido entre 8 a 14 μm é o pico de emissão de radiação infravermelha que qualquer corpo com uma temperatura compreendida entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, deteta, conforme citado por Silva, 2007, [31].

Contudo, outro estudo, comprovou haver maior radiação infravermelha, no intervalo espectral compreendido entre 3 a 12 μm , tendo percebido que com a influência da atmosfera terrestre, a transferência de radiação difere consoante o comprimento de onda, e que a atmosfera apenas transmite o valor da radiação emitida com menor atenuação em dois intervalos distintos, nomeadamente de 3 a 5 μm , e de 8 a 12 μm , conforme citado por Walker, 1998], [31].

Gráfico 1 Transmissão da radiação infravermelha na atmosfera, Fonte: Walker, 1998, [31]



A limitação da transmissão da radiação infravermelha na atmosfera, que se observa no gráfico 1, deve-se à absorção de parte da radiação pelo dióxido de carbono e pelo vapor de água presentes na atmosfera, conforme citado por Walker, 1998, [31].

O olho humano só deteta ondas de luz visível ou radiação visível do espectro eletromagnético no intervalo entre 0.39 – 0.77 μm , que corresponde ao resultado da radiação indireta (ou refletida) fornecida pela radiação solar ou por luzes artificiais, [2].

Na luz branca estão contidas todas as cores visíveis, sendo a cor apenas uma parte da luz branca. Perante a refração da luz branca num prisma de cristal pode-se produzir um espectro, com a separação das radiações contidas na luz, [23].

O ser humano não deteta a radiação infravermelha (IR), compreendida entre os comprimentos de onda entre 2 - 15 μm , que corresponde às partes visíveis e micro-ondas do espectro eletromagnético. O intervalo de ondas IR compreendidos entre 0.7 - 25 μm , está perto das ondas visíveis, embora com um comprimento de onda mais longo do que o visível e mais curto que as micro-ondas. A radiação IR, compreendidas entre 25 - 1000 μm , está mais próximo das regiões micro-ondas, [2].

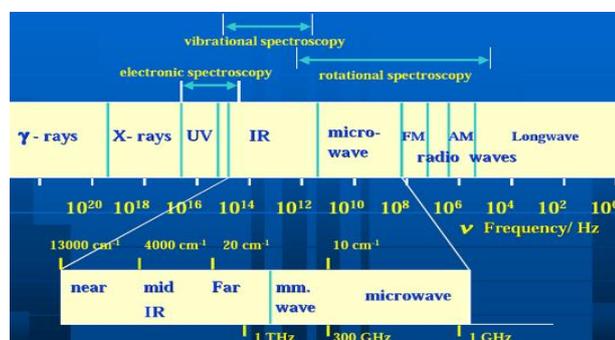


Figura 7 Classificação do espectro e seu comprimento de onda, [21]

O sentido de visão do ser humano é sensível a estímulos mínimos, podendo detetar a luz de uma estrela longínqua ou a chama de um fósforo numa noite clara, a 15 km de distância.

A visão do ser humano está limitada a uma faixa de radiação por nós perceptível, estando restrita a um intervalo que vai de, aproximadamente, 400 nm a 750 nm, isto é, compreendido entre a cor violeta até à cor azul, verde, amarelo, laranja e vermelho, respetivamente, sendo 1 nm o equivalente a 10^{-9} m, segundo o gráfico 2 e 3, respetivamente. [6].

Gráfico 2 Espectro normalizado, da zona visível, [6]

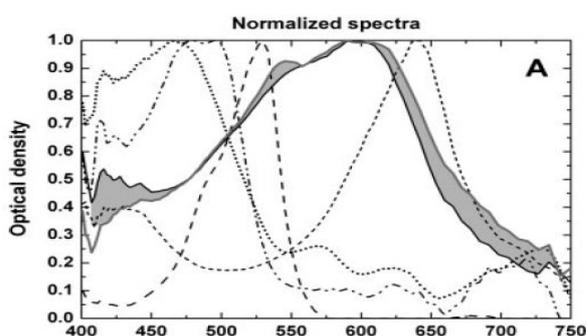
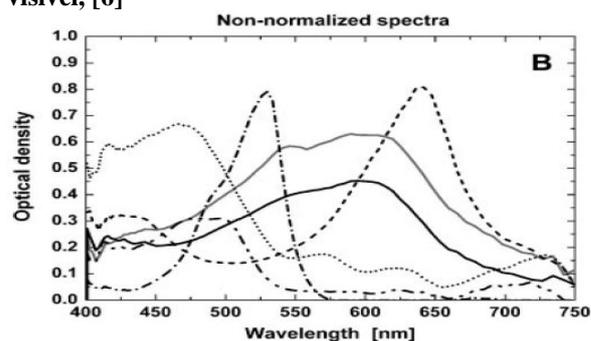


Gráfico 3 Espectro não normalizado da zona visível, [6]



A radiação eletromagnética é caracterizada, pela sua frequência, comprimento de onda ou energia transportada, [15].

Diferentes materiais em estudo, podem ser identificados e caracterizados com base na sua emissividade única. A emissividade de um material depende do comprimento de onda e das propriedades moleculares do material e é a assinatura emissiva única do objeto que pode ser usada para identificá-lo quando se trabalha na porção do espectro do IR médio ou do IR longo, [21].

O estudo da refletância espectral de materiais e cenários, permite obter a curva da assinatura espectral, que se caracteriza pela intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de onda, [6], [21].

A escolha do sensor é essencial e decisora para se obter a melhor imagem espectral sobre uma determinada matéria ou objeto. Quanto maior for a resolução do espectro, melhor permitirá quantificar e identificar os diferentes espectros dos materiais e caracterizar os mesmos, [21].

A temperatura não é o único parâmetro que influencia a imagem termográfica, mas também a emissividade e a condutividade térmica, [21], [4].

A emissividade de um material depende do comprimento de onda e das propriedades moleculares do material e é a assinatura emissiva única do objeto que pode ser usada para identificá-lo quando se trabalha na porção do espectro do IR médio ou do IR longo, [21]. No gráfico 4, observa-se o espectro com uma resolução espectral típica de sistemas de imagens

hiperespectrais com uma amostragem muito mais estreita e precisa do que os dois espectros colhidos com sensores multiespectrais (MODIS E TM).

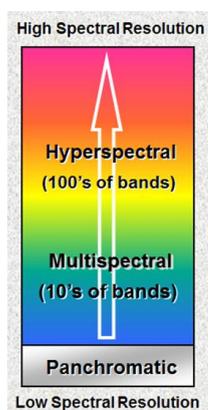
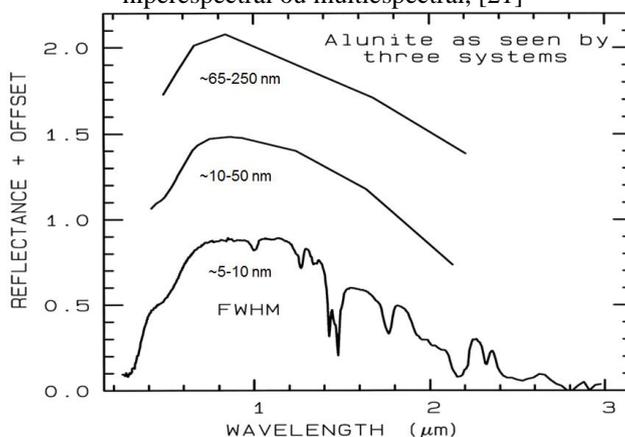


Figura 8 Níveis de Resolução espectral, [21]

Gráfico 4 - Espectros obtidos para um mineral, utilizando distintos sensores: hiperespectral ou multiespectral, [21]



O espectro de alta resolução mostra características únicas (bandas de absorção) que não são observadas nos outros espectros multiespectrais. Os sensores multiespectrais nunca seriam capazes de identificar alguns minerais com base no seu teor de absorção distinto perto de 1,45 microns, [21], [22].

A diferença entre imagens de banda larga, multiespectrais, hiperespectral e ultraspectrais é ilustrada na figura 9.

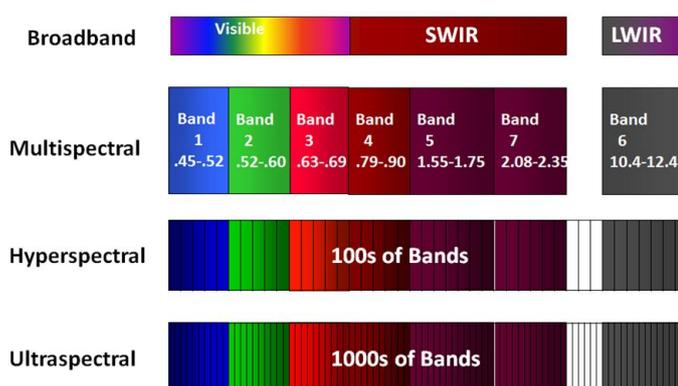


Figura 9 Imagem espectral de banda larga, multiespectral, hiperespectral e ultraspectral, [21]

Os sensores de banda larga produzem imagens pancromáticas com largura de banda muito grande, tipicamente 400 nanômetros. A imagem multiespectral caracteriza-se pela captura de imagens em várias bandas espectrais com largura moderada, na sua maioria possuem quatro bandas espectrais básicas; azul, verde, vermelho e próximo de IV. O satélite Landsat 7 é de

imagens multiespectral, e possui bandas espectrais adicionais na região infravermelha. Os sistemas de imagem hiperespectral podem captar imagens em centenas de bandas espectrais estreitas e contínuas com largura de banda típica de 10 nanômetros ou menos. Por exemplo, o sensor de imagem hiperespectral transportado por via aérea da AVIRIS obtém dados espectrais sobre 224 canais contínuos, cada um com uma largura de banda de 10 nm numa gama espectral de 400 a 2500 nanômetros. Os sensores ultraespectrais representam o futuro da tecnologia de imagens hiperespectrais. Estes sensores são definidos para ter 1000s de canais espectrais, cada um com uma largura de banda mais estreita do que aqueles de sensores hiperespectrais ($<0,1$ nm), [21].

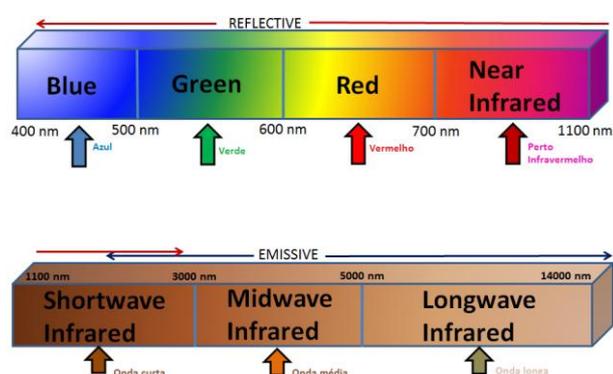


Figura 10 Classificação do espectro monocromático e seu comprimento de onda, [21]

Diferentes materiais, podem ser identificados e caracterizados com base na sua emissividade, uma medida que quantifica a radiação de energia de um determinado material em comparação com um corpo negro (isto é, um emissor e absorvente perfeitos) à mesma temperatura.

A condutibilidade térmica representa a quantidade de energia térmica que um material é capaz de gerar, [12].

Distintos materiais como argamassas, ladrilhos, materiais plásticos ou pétreos, quando sujeitos à mesma temperatura ambiente, possuem diferentes condutibilidades.

Usam-se técnicas de espectrofotometria, para monitorizar a qualidade das águas residuais, nas operações de tratamento das águas residuais (ETAR), [24].

Usam-se técnicas de espectrofotometria, para determinar a refletância de telhas bem como estudar os pigmentos com melhor resistência térmica, [23].

4.3. Metodologia com recurso a imagem multiespectral

Um equipamento multiespectral, caracteriza-se por uma câmara capaz de registar um número superior ao convencional de bandas (mais do que 3, nomeadamente; a banda B, G, R), independentemente dessas bandas pertencerem ao visível ou regiões não visíveis do espectro eletromagnético (ou mesmo hiperespectral, no caso desse número de bandas ser superior a 9). Em 1931, a CIE – Comissão Internacional de Iluminação (CIE – Commission Internationale de L'Éclairage), propôs um método para representação de cores, utilizando as cores básicas, vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*), tendo como base a *tricromaticidade da retina humana* e adaptou curvas padrão para a determinação de cores (sistema RGB).

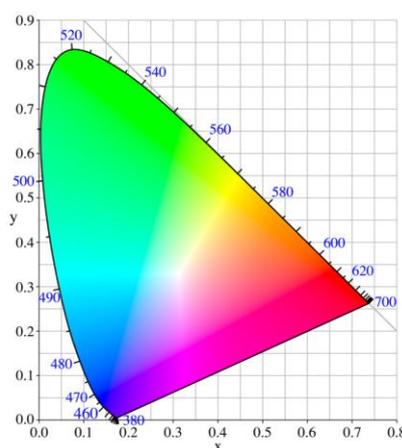


Figura 11 Diagrama de cromaticidade, Fonte: Sistema RGB da CIE, 1931

Com base no diagrama de cromaticidade (Fig. 11) é possível criar mapeamentos. A imagem é formada por um conjunto de elementos discretos ou pixel e o processo de amostragem caracteriza-se de duas maneiras; nomeadamente a amostragem espacial que é uma função de duas variáveis espaciais $f(x,y)$, onde o valor da função f numa determinada posição (x, y) representa a intensidade da imagem nesse ponto ou pixel; outra é a amostragem da amplitude ou intensidade onde cada ponto é representado por um número que traduz os níveis de cinzento (intensidade luminosa global). Constata-se que nas imagens a cores cada ponto é representado por três valores inteiros da cor primária (vermelho, verde, azul) isto é o sistema RGB: R –Red, G–Green, B –Blue, [31, 34].

A análise e tratamento da imagem multiespectral é frequentemente utilizada para avaliação de obras de arte, com a finalidade de mapear e identificar danos ou pigmentos aglutinantes, a referir um estudo multiespectral de imagem com 12 filtros de interferência para mapeamento dos pigmentos, caracterizados por diferente espaçamento e largura das bandas do espectro

eletromagnético, nomeadamente entre os 400 nm aos 805 nm. No estudo foram identificados 54 pigmentos nas imagens. [34].

Após o registro e calibração das imagens, estas são carregadas no cubo da imagem da refletância, correspondente, onde as imagens são representadas pelos eixos de X e de Y e a dimensão de Z denota o comprimento de onda da imagem. A partir do cubo, é então possível reconstruir o espectro de refletância de cada pixel, [34].

Ainda, as imagens infravermelhas ou multiespectrais são um meio de visão artificial que permitem inúmeras aplicações nas inspeções e controlo de qualidade de distintas indústrias. Seguidamente, são apresentados alguns estudos de sucesso de aplicação de imagem multiespectral, na área da Engenharia Civil.

- a) Avaliação do património em betão por processamento de Imagem multiespectral, que consiste na aplicação do método CONCRACK, metodologia inovadora na deteção e medição de fissuras em superfícies de elementos de betão, conforme figura 12.

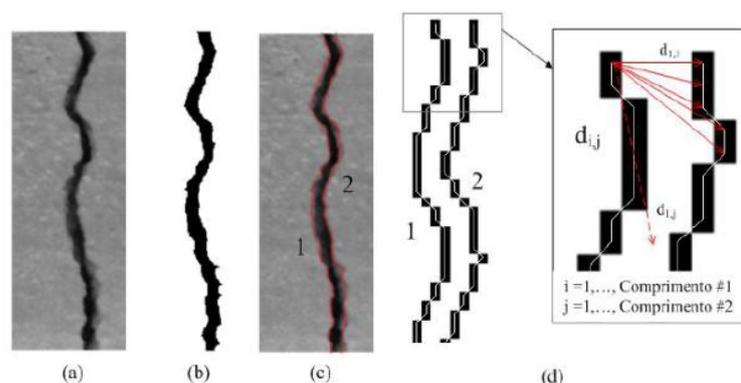


Figura 12 Avaliação da largura da fissura em cada ponto ao longo do comprimento da descontinuidade, Fonte: Valença, J. et al, [35]

- b) Inspeção de estruturas de betão com análise multiespectral

Estudos comprovam que a técnica multiespectral permite detetar anomalias em construções, em especial, a colonização biológica ou humidade em edifícios, bem como o mapeamento das fachadas por diferenciação dos diversos materiais, [36].

Neste estudo realizado por J. Valença et al, foi conhecido a potencialidade da análise multiespectral e do algoritmo “ISODATA”, em três elementos distintos no betão conforme figura 13 e 14, a referir; a área com o betão original, área com a colonização biológica e a área com a argamassa de reparação. Foi selecionada uma pequena área de pixels relativa às três classes e medida a sua resposta, isto é, a refletância espectral nas bandas consideradas, conforme a tabela 15, [36].

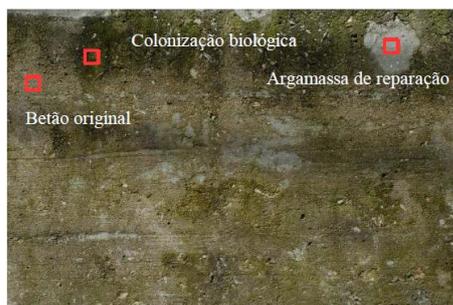


Figura 13 Fotografia com as três classes de elementos estudados, [36].

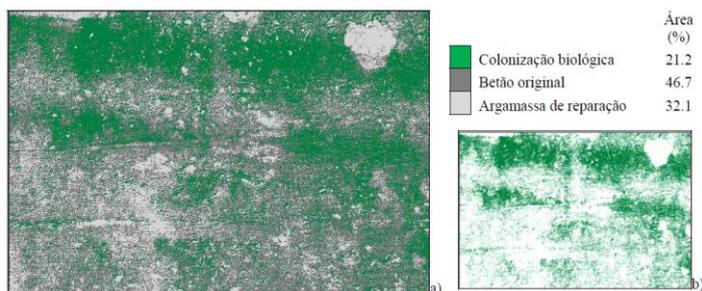


Figura 14 Análise multiespectral: a) divisão em três classes, b) mapa da colonização biológica, Valença, J. et al [36].

Tabela 15 Resposta espectral – Reflectância, Valença J. et al [36]

	<i>Colonização Biológica</i>	<i>Betão original</i>	<i>Argamassa de reparação</i>
<i>Banda 1 (vermelho)</i>	12.9	26.2	29.7
<i>Banda 2 (verde)</i>	12.5	28.6	30.8
<i>Banda 3 (azul)</i>	5.4	21.6	28.4

Pela análise dos resultados da tabela 15, conclui-se que nas três bandas a área avaliada com colonização biológica é claramente diferenciada das áreas de betão original e de argamassa de reparação através da banda 3. A banda 1 e a banda 2 apresentam uma resposta idêntica para as três classes consideradas. A área de argamassa de reparação tem uma resposta semelhante nas três bandas. Foi inclusive, obtido a imagem associada ao levantamento do dano, utilizando análise multiespectral, tendo sido feito um levantamento geométrico rigoroso, utilizando o varrimento por laser e modelos 3D renderizados, associados ao levantamento do dano, [36].

- c) Aperfeiçoam o sistema de controlo de qualidade da argila, nas cerâmicas.



Figura 15 Sistema de controlo de qualidade da argila, [37]

- d) Aplicações de visão artificial 3D, que permite a inspeção de estradas e de vias ferroviárias.

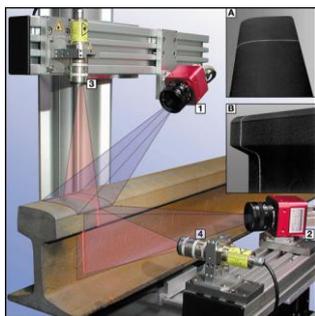


Figura 16 Equipamento multiespectral, a aferir a posição, perfil e largura do carril ferroviário



Figura 17 Equipamento multiespectral, a aferir inspeções nas faixas rodoviárias

5. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS NA CONSTRUÇÃO OU REABILITAÇÃO

5.1. Normalização dos materiais de construção em Portugal e sua evolução na União Europeia

Na década de 60, foi introduzido em Portugal o conceito das exigências funcionais por meio das publicações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), sendo as exigências funcionais definidas como a segurança, a saúde, conforto, satisfação e economia.

A Comissão Europeia possui um papel balizador, porque promove o estabelecimento de normas, no âmbito da DPC (Diretiva dos Produtos da Construção), enumerando seis exigências funcionais essenciais, que os produtos a usar na construção têm de respeitar:

- A resistência mecânica e estabilidade;
- A segurança contra o incêndio
- A higiene, saúde e proteção do ambiente
- A segurança aquando na utilização
- A proteção contra o ruído
- A economia de energia e comportamento higrométrico.

Desta forma, os estados-membros devem zelar para que só possam ser colocados no mercado produtos satisfazendo a DPC, permitindo-lhe circular livremente no espaço comunitário.

A transposição do DPC para a legislação portuguesa foi feita em 1993, através do IPQ – Instituto Português da Qualidade, o LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil e a IGAE – Inspeção Geral das Atividades Económicas, [38].

A montante da fase da comercialização de um determinado material de construção ou produto, as industriais estão naturalmente inibidas de comercializarem sem demonstrar previamente o cumprimento das exigências funcionais de qualidade para alguns materiais de construção. Para o efeito as indústrias avaliam quantitativamente os materiais produzidos, através de ensaios, por forma a avaliar os requisitos de desempenho que foram pré-estabelecidos, por meio de normas, que foram preparadas a partir das especificações. Sempre que as especificações são objeto de consenso ao nível nacional ou internacional dão origem a normas (nacionais ou internacionais). Cabe ao IPQ diretamente ou com o apoio cooperativo dos Organismos de Normalização Sectorial (ONS) a orientação das Comissões Técnicas (CT)

responsáveis pela produção de normas em Portugal. As CT são grupos peritos da área científica e técnica a que o produto a ser normalizado refere.

O CIB é uma organização internacional com inúmeros membros (académicos, investigadores e profissionais especializados) com o objetivo de divulgar o conhecimento técnico e científico disponível. No CIB, existem comissões técnicas, a título de exemplo, a comissão WO40 que se debruça sobre os principais problemas de carácter higrotérmico que afetam a construção e a comissão WO86 que se foca na patologia da construção, [39].

Em Portugal só têm carácter vinculativo obrigatório, aquando existe em vigor uma transposição para a ordem jurídica nacional das Diretivas, do Parlamento Europeu e do Conselho, a referir qualquer norma aplicável elaborada pelo Comité Europeu de Normalização (CEN).

O LNEC é a entidade responsável pela homologação em Portugal, tendo como base as diretivas da European Assessment Documents (EOTA), [40].

A demonstração da conformidade é assegurada por duas vias:

- Declaração de conformidade CE – numa primeira fase só intervêm o fabricante, já numa segunda fase intervêm o fabricante e o laboratório externo aprovado e numa terceira etapa o fabricante, um laboratório aprovado e um organismo exterior de inspeção (Organismo Notificado);
- Certificado de Conformidade CE – a certificação de conformidade CE é atribuída por um organismo especialmente acreditado para o efeito que é incumbido de atestar a conformidade do produto certificado com as especificações técnicas, aplicáveis. Os diplomas legais especificam os procedimentos a seguir pelo fabricante e pelo organismo de certificação com vista à atribuição da certificação, [41].

Estão abrangidos pela legislação de harmonização da união, os seguintes produtos:

- “Colocação de um produto no mercado e a qualquer operação posterior de disponibilização de produto até que o mesmo chegue ao utilizador final;
- Um produto anunciado num catálogo ou no âmbito de comércio eletrónico deve cumprir a legislação de harmonização da União sempre que o catálogo ou o sítio web direcione a sua oferta para o mercado da União e inclua um mecanismo de encomenda e expedição;
- Produtos recém-fabricados, produtos usados e em segunda mão importados de países terceiros quando entram pela primeira vez em Portugal;

- Um produto que tenha sido objeto de alterações ou transformações importantes com o objeto de alterar o seu desempenho inicial, a sua finalidade ou o seu tipo pode ser considerado um produto novo.”

A pessoa que procedeu às alterações torna-se o fabricante, devendo assumir as obrigações correspondentes. Porém, se um produto que não respeita as normas harmonizadas chegar ao utilizador final, deixa de ser considerado um produto novo e a legislação de harmonização da União deixa de ser aplicável. O utilizador final não é considerado um operador económico com responsabilidades ao abrigo da legislação de harmonização da União, contudo essa operação pode estar regulamentada por outras normas, a referir nacionais, [42].

Se pretendemos saber se a marcação CE de determinado produto é obrigatória, o primeiro procedimento consiste em consultar o Jornal Oficial da União Europeia e procurar a última atualização da publicação de títulos e referências das normas harmonizadas. Assim, através do Regulamento (EU) 305/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, é possível averiguar se a comercialização de determinado produto de construção se encontra abrangida por uma nova norma harmonizada e qual a sua última revisão. É obrigatória a fixação da marca CE em todos os produtos inseridos na diretiva, a partir da data da obrigatoriedade da marca publicada no JOUE, [43].

Apresenta-se a tabela 16, 17 e 18, com alguns materiais de construção aplicados como revestimentos e que se encontram abrangidos por normas harmonizadas.

Tabela 16 Lista de normas harmonizadas para rochas usadas nos paramentos. Fonte: Jornal Oficial da União Europeia, [42]

Revestimentos de paramentos com rocha	Norma Harmonizada Vigente	Norma harmonizada	Data	Data
Pedra aglomerada - Placas e ladrilho para acabamento de paredes (interiores e exteriores)	EN 15286:2013		8.8.2014	8.8.2015
Ardósias e produtos em pedra para coberturas descontínuas e revestimento exterior de paredes - Parte 1: Especificação para ardósias e ardósias carbonatadas	EN 12326-1:2014	EN 12326-1:2004	13.02.2005	13.02.2016
Pedra natural - Ladrilhos modulares - Requisitos	EN 12057:2004		1.09.2005	1.09.2006
Pedra natural - Placas para pavimentos e degraus - Requisitos	EN 12058:2004		1.09.2005	1.09.2006
Produtos em pedra natural - Placas para revestimento de paredes - Requisitos	EN 1469:2015	EN 1469:2004	8.04.2016	8.04.2017
Especificações para unidades de alvenaria - Parte 5: Blocos de pedra reconstruída	EN 771-5:2011+A1:2015	EN 771-5:2011	10.06.2016	10.06.2017
Especificações para unidades de alvenaria - Parte 6: Unidades de alvenaria em pedra natural	EN 771-6:2011+A1:20	EN 771-6:2011	8.04.2016	8.04.2017

Tabela 17 Lista de normas harmonizadas para argamassas. Fonte: Jornal Oficial da União Europeia, [42]

Argamassas para alvenaria	Norma Harmonizada Vigente	Norma harmonizada	Data	Data
Especificação de argamassas para alvenarias - Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores	EN 998-1:2010	EN 998-1: 2003	1.06.2011	1.06.2012
Especificação de argamassas para alvenarias - Parte 2: Argamassas de assentamento	EN 998-2:2010	EN 998-2:2003	1.06.2011	1.06.2012

Tabela 18 Norma harmonizada para tijolos cerâmicos para alvenaria. Fonte: Jornal Oficial da União Europeia, [42]

Unidades de Alvenaria cerâmicos	Norma Harmonizada Vigente	Norma harmonizada	Data	Data
Especificações para unidades de alvenaria - Parte 1: tijolos cerâmicos para alvenaria	EN 771-1:2011+A1:2015	EN 771-1: 2011	10.06.2016	10.06.2017

Conclui-se que em função do tipo de aplicação do material de construção, existem normas específicas.

A título de exemplo, pela tabela 18, é possível observar que a partir de 10.06.2017, os industriais de produção de tijolo para alvenaria, ficam naturalmente obrigados a implementar internamente os procedimentos de ensaio e especificações constantes na norma EN 771-1:2011+A1:2015.

Por consulta da lista oficial do JOUE, não foi encontrada qualquer norma específica para o material de construção de adobe.

A tabela 19, refere as propriedades e quais são as normas específicas de referência para algumas aplicações com rocha.

Tabela 19 Propriedades e normas de referência para os revestimentos de pedra com aplicação para os paramentos. Fonte: Rebola, Paula (2011), Cevalor e Ordem dos Engenheiros Sul, [44]

Propriedades / Normas de Referência	Norma Harmonizada para alguns materiais de construção					
	NP EN 1341	NP EN 1342	NP EN 1343	NP EN 12057	NP EN 12058	NP EN 1469
Descrição Petrográfica (EN 12407)	•	•	•	•	•	•
Comportamento ao fogo (EN 13501-1)				◊	◊	◊
Resist. À flexão (EN 12372 ou EN 13161)	◊			◊	◊	◊
Gelo (EN 12371) (Flexão após Gelo)	◊			◊	◊	◊
Resistência à compressão (EN 1926)		◊				
Gelo (EN 12371) (Compressão após Gelo)		◊				
Absorção de água à Pressão atmosférica (EN 13755) *	•	•	•	•	•	•
M. Vol. Aparente e Porosidade Aberta (EN 1936) *	•	•	•	◊	◊	◊
Absorção de água por Capilaridade (EN 1925)	•	•	•	•	•	•
Resistência ao Desgaste (EN 14157)	◊	◊		•	•	
Resistência ao Escorregamento (EN 14231)	◊	◊		◊	◊	
Resistência ao Choque Térmico (EN 14066)				◊	◊	◊
Ancoragens (EN 13364)						◊
EN 1052-3 (Resistência argamassa)						
EN 1745 (Classe Térmica)						
Permeabilidade ao Vapor (EN 12524)				◊	•	◊
Tactilidade (Descrição do perfil da superfície)				◊	◊	
Legenda	◊ - Ensaio Obrigatório		• - Ensaio Recomendado			

A tabela 20, refere algumas propriedades e quais são as normas específicas de referência para os ensaios às argamassas para alvenarias, com a descrição das categorias e limites.

Tabela 20 Propriedades e normas de referência de argamassas para alvenaria, [43].

Propriedades / Normas de Referência	Norma Harmonizada		
	EN 998-1:2010	Observações	
Reação ao fogo (EN 13501-1)	◊	Euroclasse: A1 a F	
Condutibilidade térmica (só para suportes que sejam aplicáveis) (EN 1745)	◊	Categoria T1	$T \leq 0,1 \text{ W/m.K}$
		Categoria T2	$T \leq 0,2 \text{ W/m.K}$
		Categoria W0	não especificado
		Categoria W1	$C \leq 0,4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		Categoria W2	$C \leq 0,2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Absorção de água (aplicável apenas para revestimentos exteriores) (EN 1015-18)	◊	Mais de 24 horas de exposição - R	$C \leq 0,3 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		absorção, após o ensaio capilar	$h < 5 \text{ mm}$
Permeabilidade à água após ciclos climáticos (só para monocamadas) (EN 1015-21)	◊	$OC \leq 1 \text{ ml/cm}^2$, após 48 horas	
Permeabilidade ao vapor de água (só revestimentos exteriores) (EN 1015-19), (condição de ensaio a 20 °C de temperatura e 101325 Pa de pressão atmosférica)	◊	Coefficiente de difusão ao vapor de água μ	$(R \text{ ou } T) \leq 15$ Resultado da avaliação
Aderência ao suporte (excepto monocamada) (EN 1015-12) ou (EN 1015-21)	◊	Obrigatório para todos os tipos, excepto OC	Aderência (em N/mm^2) e tipo de rotura
Densidade aparente seca (EN 1015-10)	◊		Valores tabelados
Durabilidade em exposição exterior (revestimentos exteriores, excepto OC - monocamada)	◊		Resultado da avaliação
Durabilidade ao gelo /degelo (só monocamada)	◊		Resultado da avaliação
Substâncias perigosas	◊		Informação sobre substâncias perigosas
Ensaio à compressão (28 dias) (EN 1015-11)	◊	Categoria CSI	$0,4 \text{ a } 2,5 \text{ N/mm}^2$
		Categoria CSII	$1,5 \text{ a } 5 \text{ N/mm}^2$
		Categoria CSIII	$3,5 \text{ a } 7,5 \text{ N/mm}^2$
		Categoria CSIV	$\geq 6,5 \text{ N/mm}^2$

Legenda ◊ - Ensaio Obrigatório ● - Ensaio Recomendado

A tabela 21, refere algumas propriedades e quais são as normas específicas de referência para os ensaios a tijolo cerâmico para alvenarias, com a descrição das categorias e limites.

Tabela 21 Propriedades e normas de referência do tijolo cerâmico para alvenaria.

Propriedades / Normas de Referência	Norma Harmonizada	
	EN 771-1:2010	Observações
Reação ao fogo (EN 13501-1)	◊	Euroclasse A1 material não contribui para o fogo
		Euroclasse A2 material sem qualquer especificação
		Categoria LD $\leq 1000 \text{ Kg/m}^3$
		Categoria HD $> 1000 \text{ Kg/m}^3$
		Categoria HD para zonas de uso não protegido
Valores de compressão (só para tijolos com função estrutural) (EN 772-1). Dimensões provetes com base e altura de 100 mm.	◊	Categoria I
		Categoria II
Absorção de água (não aplicável para tijolos de uso interior) (EN 772-11), quando não ultrapassa o definido	◊	EN 772-7 Método utilizado em água fervida
		A norma EN 772-11 apresenta que quando for relevante para o uso pretendido, o fabricante deve declarar o valor de absorção de água, através do ensaio de imersão do provete para o período de 60 s ± 2 s.
Tolerâncias dimensionais (EN 772-16)	◊	T1 $\pm 0,40$ * (valor da dimensão) ^{0,5} mm ou 3 mm, o maior valor destes
		T1+ $\pm 0,40$ * (valor da dimensão) ^{0,5} mm ou 3 mm de comprimento, o maior valor destes
		$\pm 0,05$ * (valor da dimensão) ^{0,5} mm ou 1 mm de altura, o maior valor destes
		T2 $\pm 0,25$ * (valor da dimensão) ^{0,5} mm ou 2 mm, o maior valor destes
		T2+ $\pm 0,25$ * (valor da dimensão) ^{0,5} mm ou 2 mm de comprimento, o maior valor destes
		T2+ $\pm 0,05$ * (valor da dimensão) ^{0,5} mm ou 1 mm, o maior valor destes
		Tm desvio em mm declarado pelo fabricante (pode ser afastado ou próximo do valor das restantes categorias)
		R1 $0,6$ * (valor da dimensão) ^{0,5}
		R1+ $0,6$ * (valor da dimensão) ^{0,5} , para comprimento e largura e 1 mm para peso
		R2 $0,3$ * (valor da dimensão) ^{0,5}
		R2+ $0,3$ * (valor da dimensão) ^{0,5} , para comprimento e largura e 1 mm para peso
Rm desvio em mm declarado pelo fabricante (pode ser afastado ou próximo do valor das restantes categorias)		
Máximo desvio / alinhamento (EN 772-20)	◊	
Pormenores, Distâncias e direções; volume de vazios; percentagem do volume de vazios, peso e área (EN 1996-1-1) ou (EN 1996-1-2)	◊	
Porosidade aparente e massa aparente (EN 772-3)	◊	
Tolerâncias da densidade aparente (EN 772-13)	◊	D1 10%
		D2 5%
		Dm percentagem declarada pelo fabricante (pode ser afastado ou próximo do valor das restantes categorias)
Função estrutural (EN 1052-3)	◊	T1, T2 ou Tm
Tolerâncias dimensionais (EN 772-16)	◊	R1, R2 ou rm
(só aplicável, se for obrigatório mediante as exigências do País) EN 722-19	●	
(Só obrigatório para elementos exteriores) (EN 772-21)	◊	
Permeabilidade ao vapor de água (EN 1745); λ_{10} , unidade seca	◊	F0 exposição passiva(paredes interiores ou outro revestimento adequado para o local)
		F1 exposição moderada
		F2 exposição severa
Determinação de sais solúveis(EN 772-5), que em valores percentuais não podem ser superiores às categorias definidas.	◊	S0 Não aplicável
		S1 $0,17$ % ou $0,08$ %, dependendo do tipo de sais
		S2 $0,06$ % ou $0,03$ % dependendo do tipo de sais

Legenda ◊ - Ensaio Obrigatório ● - Ensaio Recomendado

5.2. Enquadramento Legal em Portugal vs . Normalização Europeia

Qualquer norma só tem efeito legal, desde que transposta para o sistema jurídico Português. Não existindo norma para o caso do adobe, consequentemente, não é obrigatório a fabricação de adobes específicos em respeito de uma dada receita com prescrição técnica, como sucede com betão, pelo que se têm observado um comportamento comum dos intervenientes; a referir: dono de obra e/ou empreiteiro, que passa por demolir as edificações em adobe, em vez de as reabilitar sem perder a sua identidade. A edificação antiga faz parte da Cultura Portuguesa e perante um mercado de turismo em crescimento, deveriam existir incentivos de apoio à promoção para a reabilitação da edificação antiga com potencialidade de valorização do turismo, dado que apenas as edificações consideradas monumentos ou localizadas nas zonas históricas de cidades, estão ligeiramente salvaguardadas.

Com vista a salvaguardar a conservação e a reabilitação de edificações, a regulamentação europeia, EC8, estabelece que as prescrições técnicas referentes a edifícios correntes só são aplicáveis aos edifícios históricos e monumentos se não potenciarem efeitos negativos na sua salvaguarda.

O Decreto-Lei n.º 53/2014, desde 8 de Abril de 2014, prevê quanto ao comportamento térmico e desempenho energético, um regime excecional e transitório a aplicar em ações de reabilitação de edificações habitacionais, concluídos alguns anos (mais de 30 anos) ou localizados em áreas de reabilitação urbana. Este regime contempla a dispensa de exigências de determinadas disposições técnicas, cujos cumprimentos tenham custos inoportáveis. Prevê ainda, pelos mesmos motivos, a dispensa do cumprimento de requisitos previstos nos regimes jurídicos em vigor quanto a requisitos acústicos, eficiência energética e qualidade térmica, [39].

Assistimos a uma oferta cada vez mais variada de novas técnicas e produtos comercializados e divulgados por grupos internacionais, presentes no mercado nacional, detentores de laboratórios equipados. Contudo, apesar disso, desconhecem-se resultados estatísticos quanto à durabilidade desses materiais já aplicados na reabilitação de edificações, versus durabilidade prescrita pelo Fabricante na ficha técnica do produto, atendendo às reais condições de aplicação, visto serem essas as condicionantes para a durabilidade do revestimento, quando se trata de materiais de construção certificados.

Em Portugal, perante uma obra particular, o construtor ou o vendedor que tenha construído, modificado ou reparado é legalmente responsável por dar garantia ao dono de obra ou a terceiro adquirente, durante o período de cinco anos, ou prazo de garantia convencionado,

quando aplicável. Esta matéria está prevista no art. 1225.º, n.º 1, do Código Civil. Se se tratar de uma obra pública, segundo o Despacho normativo 9/2014, de 21/7, publicado na 2ª série do D.R., de 31 de Julho, esse prazo de garantia é distinto, em função do tipo de elemento; a referir: perante elementos construtivos estruturais (10 anos de garantia), perante elementos construtivos não estruturais ou instalações técnicas (prazo de garantia de 5 anos) e perante equipamentos afetos à obra, mas delas autonomizáveis (prazo de garantia de 2 anos).

5.3. Metodologias de determinação das Propriedades Hígricas, para materiais com função de revestimentos superficiais

5.3.1. Introdução

Existem critérios de classificação, aquando o estudo das propriedades hígricas dos materiais de construção, que seguem procedimentos de ensaios e condições expressos nas normas nacionais ou internacionais. Com o objetivo de conhecer critérios de apoio, aquando os serviços de inspeção foram, segundo Colen, Inês Flores et al, foram realizados 44 casos de estudo para diferentes condições de serviço de argamassas, por forma a conhecer os seus parâmetros ao longo da vida útil. Para isso, foram realizados diagnósticos para as seguintes argamassas em serviço, a referir: argamassa pré-doseadas menos compactas (com massa volúmica aparente inferior a $1550 \pm 150 \text{ kg/m}^3$), argamassas tradicionais, de base maioritariamente cimentícia e argamassas pré-doseadas mais compactas (com massa volúmica aparente superior a $1550 \pm 150 \text{ kg/m}^3$). A tabela 22, apresenta os critérios obtidos para o conjunto das argamassas, sem a diferenciação de grupos, [45].

Da tabela 22, conclui-se que os coeficientes de capilaridade de amostras variam entre $0,01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ e $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$, para argamassas com massas volúmicas aparentes compreendidas entre 1330 a 1550 kg/m^3 , com uma tolerância admissível de mais ou menos 150 kg/m^3 e uma porosidade aparente limitada entre 22 % (com desvio de $\pm 2 \%$) a 30 % (com desvio admissível de $\pm 5 \%$).

Tabela 22 Critérios de apoio nos serviços de inspeção, com base em 44 estudos técnicos a argamassas, ensaiados sob distintas condições. Fonte: Colen, Inês Flores, [45]

Parâmetro em serviço	Critérios	Unidades
Massa volúmica aparente	$1330 \leq M_{ap}^{VA} \leq 1550 \pm 150$	kg/m ³
Porosidade aparente	$22 \pm 2 \leq P_{ap} \leq 30 \pm 5$	%
Tensão de arrancamento por tracção	$f_{tt} \geq 0.3$	N/mm ²
Resistência à compressão de amostras, após ensaio de aderência <i>pull-off</i>	$2.8 \leq R_c^{ad} \leq 5.2$	N/mm ²
Resistência à compressão de amostras estimada pela tensão de arrancamento em rotura coesiva	$2.7 \leq R_c^{mc} \leq 4.0$	N/mm ²
Velocidade aparente de propagação das ondas	$3 \pm 0.3 \leq V_{ap} \leq 3.3 \pm 0.2$	km/s
Índice esclerométrico no esclerómetro PT	$64 \leq IE^{PT} \leq 75 \pm 7$	-
Diâmetro da moosa no <i>Martinet Baronne</i>	$13 \leq \phi_{moosa} \leq 20$	mm
Índice de quadriculagem no <i>Martinet Baronne</i>	$I_0 \leq I_1^I \leq I_{250}^{34}$	-
Humidade à superfície, em ambiente seco	$H_{sup} \leq 11 \pm 9$	%
Coefficiente de absorção no tubo de <i>Karsten</i>	$0.05 \leq C_{ab(60min)}^{TK} \leq 0.2$	kg/m ² .min ^{0.5}
Coefficiente de capilaridade de amostras	$0.01 \leq C_a^a \leq 0.2$	kg/m ² .min ^{0.5}
Teor de água no ensaio de capilaridade às 48h	$0.01 \leq W_c^{48h} \leq 0.2$	%
Índice de resistência à secagem de amostras	$0.1 \leq I_s \leq 0.3 \pm 0.05$	-
Concentração de cloretos [Cl ⁻], nitratos [NO ₃ ⁻] e sulfatos [SO ₄ ²⁻] em amostras em solução aquosa, medidos neste estudo através do <i>kit</i> de campo ou fitas colorimétricas	$50 \leq [Cl^-] \leq 300$; $75 \leq [NO_3^-] \leq 500$; $1000 \leq [SO_4^{2-}] \leq 5000$; $1125 \leq \sum_{\text{anais}}^{(C+N+S)} \leq 5800$	mg/kg
Valor de pH de amostras em solução aquosa	$10 \leq pH \leq 11 \pm 1.5$	-

No sentido de perceber melhor, as fichas técnicas dos diversos fabricantes, é necessário conhecer a classificação europeia das argamassas pré doseadas de acordo com as suas propriedades e utilização, a referir: a argamassa de uso geral (GP); a argamassa de reboco leve (LW); a argamassa colorida (CR); a monomassa (OC); a argamassa de renovação (R); a argamassa de isolamento térmico (T).

Por forma a realizar uma inspeção técnica de um revestimento a uma edificação, é conveniente conhecer a formulação da argamassa e se a mesma representa, no seu todo, as fachadas da edificação, contudo nem sempre o proprietário autoriza a recolha de amostras “semi-destrutivas”, por forma a serem analisados em laboratório. Na tabela 23, são apresentados os critérios estudados para um conjunto das argamassas, com uma diferenciação de grupos, segundo o estabelecido por Brás et al (2013), em que terá realizado duas formulações com dosagens de granulometria de cortiça e EPS, para além da argamassa de referência sem incorporação de cortiça ou EPS, [44].

Tabela 23 Características físicas das argamassas estudadas por Brás et al. Fonte: [44]

Material	Espalhamento (mm)	MV (Estado endurecido) kg/m ³	Coefficiente de absorção capilar (kgm ⁻² .min ^{-0.5})	Porosidade (%)	λ (w m ⁻¹ .k ⁻¹)
Ref. ^a	187,5	2050	0,325	30	1,6
CC 80	180	1480	0,2	26	0,41
CE 80	160	1510	0,3	20	0,63

Legenda: CC80 - Ref - argamassa de referência; CC 80 - argamassa com incorporação de 80 % de granulado de cortiça; CE 80 - argamassa com incorporação de 80 % de granulado de EPS.

Pela análise dos resultados da tabela 23, conclui-se que as argamassas sem incorporação de cortiça ou EPS, em substituição de areia, possui superior densidade aparente aproximadamente de 2050 kg/m^3 , superior porosidade 30 % e superior valor de C com $0,325 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$. Comparativamente às argamassas que tiveram substituição em 80 % do volume de areia por EPS ou cortiça, obteve-se inferior valor do coeficiente de capilaridade. A argamassa com incorporação de EPS, foi a que se destacou com o melhor resultado, apresentando o C com o menor valor de $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ respetivamente, com a menor massa aparente de 1480 kg/m^3 , contudo maior percentagem de porosidade com o valor de 26 %. Permite concluir que a substituição da areia por elementos leves, permitiu uma redução da massa aparente e da porosidade, tendo melhorado a eficiência do C.

Segundo Leal, (2012), testou varias argamassas, com diferentes níveis de incorporação de cortiça, tendo obtido uma argamassa de referência com porosidade de 25 %. Já Bergonha tinha concluído que as argamassas cimentícias têm valores de porosidade inferiores a materiais produzidos maioritariamente com cal, tendo valores de referência de 20 a 25 %, [44].

Desta forma, é necessário conhecer a relação entre a densidade, porosidade e o coeficiente de capilaridade de alguns materiais, por forma a entender como condicionam as propriedades hígricas dos mesmos, estudo que será apresentado nos próximos subcapítulos.

5.3.2. Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo as Normas NF B 10502 e DIN 52 617

A determinação do coeficiente de capilaridade (A_w ou C), encontra-se prevista em várias normas, a referir a norma francesa NF B 10502 (1980) e posteriormente a norma alemã DIN 52 617 (1987), [46]. A metodologia para a determinação do coeficiente de capilaridade, de acordo com a norma francesa NF B 10502, possui procedimento idêntico à norma alemã, com exceção da forma de preparação dos provetes, em que não é impermeabilizada os provetes lateralmente como na DIN 52 617. Portanto, os provetes são secos em estufa a $102 \text{ }^\circ\text{C}$ até se obter massa constante, depois de arrefecidos medem-se e pesam-se separadamente. De seguida, coloca-se o provete com maior dimensão na vertical, num recipiente com cerca de 5 mm de altura de lâmina de água, registando-se para cada provete os valores de massa de água absorvida ao longo do tempo em função do \sqrt{t} , por unidade da face imersa. As medições são efetuadas alternadamente durante 24 horas. Na realidade, os procedimentos normativos de

ensaio de absorção de água, seguem uma orientação idêntica, divergindo os aspetos relacionados com os intervalos de tempo das pesagens e o modo de preparação dos provetes. Para a determinação do coeficiente de capilaridade pelas duas normas (alemã e francesa), é considerado o declive de reta que une os pontos a $\sqrt{10}$ e $\sqrt{90}$, na curva traçada com os registos a (10, 30, 60, 90, 180, 300, 480, 1440), de acordo com a expressão:

$$C = \frac{\frac{M}{S}}{\sqrt{90} - \sqrt{10}}, \quad (1.1)$$

em que, M é a massa em gramas, t o tempo em minutos e S a superfície em cm^2 , [46].

Tabela 24 Classificação dos materiais de construção em função do coeficiente de absorção de água, segundo norma DIN 52 617, [46 – Eduarda]

Coeficientes de absorção de água	Classificação dos materiais
$A_w > 2.0 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{hora}^{0.5}$	Sucção rápida
$A_w < 2.0 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{hora}^{0.5}$	Preventivo contra a água
$A_w < 0,5 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{hora}^{0.5}$	Quase impermeável
$A_w < 0,001 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{hora}^{0.5}$	Impermeável

O CSTB (1982), entidade acreditada pela COFRAC – Comissão Francesa da acreditação, a mesma classifica igualmente as propriedades dos materiais de construção de revestimento em três partes, conforme a Tabela 20, [47].

Tabela 25 Classificação dos materiais de construção em função do coeficiente de capilaridade segundo a norma francesa NF B 10502, e CSTB (entidade acreditada pela COFRAC) [46, 47]

Coeficientes de Capilaridade	Classificação dos materiais
$C > 4.0 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Revestimento de forte capilaridade
$1,5 < C < 4,0 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Revestimento de fraca capilaridade
$C < 1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Revestimento de muita fraca capilaridade

Segundo estudos realizados por Colen, Inês Flores, foram identificadas algumas condições para as argamassas, em que o valor de C , deve ser limitado superiormente, segundo tabela 26, [47].

Tabela 26 Classificação das argamassas em função do coeficiente de capilaridade, segundo Flores Colen (2009), [47]

Coeficientes de capilaridade	Condições
$C \leq 0.15 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Paredes expostas a choque em locais contígua a vias de tráfego
$C \leq 0.2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Reboco aplicado na base de paredes com altura entre 15 a 30 cm ou em condições severas de serviço
$C = 0.25 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	Forte exposição à chuva; média / alta poluição e/ou sem elementos de proteção contra as escorrências; suportes muito absorventes ou de resistência mecânica reduzidos; zona de fachadas até 3 m ou acima de 18 m; acabamentos com pintura final;

Na tabela 27, é apresentado a classificação dos valores de C, para distintas classes de argamassas pré-doseadas, segundo MERUS.

Tabela 27 Classificação MERUS de argamassas pré-doseadas (segundo Veiga 2001 a) e Biga & Abrantes (2003), citados em Flores-Colen (2009), [47]

Classes	Valores médios ($\text{Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$)	Classes	Valores médios ($\text{Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$)
C1	$C < 0.15 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	C4	$0,3 < C < 0.7 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$
C2	$0,1 < C < 0.25 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	C5	$0,5 < C < 1.2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$
C3	$0,2 < C < 0.4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$	C6	$C > 1,0 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$

Através da tabela 27, é possível relacionar os valores médios de C da tabela 28, e obter as seguintes interpretações.

Tabela 28 Resultados das classes e Interpretação dos Resultados

Resultados das Classes	Condicionantes de exposição ou aspetos de aplicação
Classe \leq C3	Capilaridade fraca ou muito fraca
Classe C1 ou C2	Forte exposição à chuva
Classe \leq C2	Parede Enterrada
Classe C1 ou C2	Suportes muito absorventes ou de resistência mecânica mais fraca
Classe C1 a C3	Condições de aplicação com Hr > 80 % ou $5.^\circ \text{ C} < T < 12.^\circ \text{ C}$
Classe C1	Altura da parede rebocada < 3 m com proximidade de árvores
Classe C1 ou C2	Altura da parede rebocada > 18 m com proximidade de árvores
Classe C1 ou C2	Parede exposta a média/alta poluição e/ou sem elementos de proteção contra escorrência
Classe C1	Em locais contíguos a vias de tráfego rodovial e ferroviário (15 m < distância < 30 m)
Classe C1 ou C2	Acabamentos com padrão de exigência superior: aplicação de pintura final
Classe C1 a C3	Acabamentos com padrão de exigência superior: projetado
Classe \leq C5	Acabamentos com padrão de exigência superior: projetado

5.3.3. Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a Norma EN 1015-18

A norma europeia EN 1015-18, define a metodologia para determinar o C para argamassas endurecidas, sendo obtido pela diferença de massa entre os 10 e 90 minutos, ou seja, admite-

se que o ponto de mudança entre a absorção rápida e lenta ocorre sempre aos 90 minutos, [47].

A velocidade de absorção de água nos instantes iniciais, representa o declive de reta que une os pontos referentes às medições das massas dos provetes aos 10 minutos e 90 minutos. O valor de C, determina-se de acordo com a equação 1.2.

$$C = 0,1 \times (m_2 - m_1), \quad (1.2)$$

em que:

- m_1 é a massa aos 10 minutos (g);
- m_2 é a massa aos 90 minutos (g);

A tabela 29, refere as categorias estabelecidas pela norma harmonizada EN 998-1:2010.

Tabela 29 Resultados das classificações para a argamassa, EN 998-1

Propriedades / Normas de Referência	Norma Harmonizada		
	EN 998-1:2010	Observações	
Absorção de água (aplicável apenas para revestimentos exteriores) (EN 1015-18)	◊	Categoria W0	não especificado
		Categoria W1	$C \leq 0,4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		Categoria W2	$C \leq 0,2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		Mais de 24 horas de exposição - R	$C \leq 0,3 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		absorção, após o ensaio capilar	$h < 5 \text{ mm}$
Legenda ◊ - Ensaio Obrigatório ● - Ensaio Recomendado			

Aquando necessário optar pela argamassa, a escolha da categoria da argamassa dependerá das condições de aplicação, isto é, em ambientes com condições de utilização mais severas, o valor de C deve ser inferior a $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$. É apenas aceitável o valor de C igual ao valor limite de $0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$, quando as condições de aplicação são em tempo húmido ou frio em acabamento projetado. Os valores de C inferiores a 0,4 só pode ser excedido, perante mais uma camada de acabamento de outro material que confira uma proteção adicional à sucção capilar, [47].

5.3.4. Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a Norma EN ISO 15148

Segundo a norma EN ISO 15148 (2002), o faseamento com vista à obtenção do coeficiente de absorção de água determina-se, depositando o provete com as faces laterais impermeabilizados e parcialmente imerso em água até a massa estabilizar a uma determinada

humidade relativa. Após a estabilização da massa dos provetes, são colocados num recipiente com entrada e saída de água assegurando apenas o nível da água em (5 ± 2) mm na base inferior do provete, que se encontra sobre um suporte, impedindo que o provete toque no fundo do recipiente com aquele nível de água. Os pontos considerados são os medidos aos tempos 5 minutos, 20 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas e após a imersão do provete considerar pelo menos duas pesagens, abrangendo uma exposição mínima de 24 horas.

Após traçar a curva, graficamente é possível visualizar a curva de absorção de água que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de área (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo em segundos \sqrt{S} determinado segundo a equação 1.3, [47].

$$A_w = \frac{\Delta m'_{tf} - \Delta m'_{to}}{\sqrt{tf}}, \quad (1.3)$$

em que,

$\Delta m'_{tf}$ representa a massa de água absorvida no final do ensaio (24 horas para a hipótese de ainda não ter atingido água na superfície e inferior a 24 horas no caso contrário), em kg/m^2 e $\Delta m'_{to}$ corresponde à massa de água absorvida inicial, isto é, para $t=0$, sendo que tf corresponde à duração total do ensaio, geralmente um dia em segundos, sendo inferior quando atinge água na superfície do provete.

5.3.5. Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a AFNOR

Segundo Páscoa, L., AFNOR (1980), Sousa & Freitas (1998), Flores – Colen, foi mencionado que o coeficiente de capilaridade se calcula de acordo com a seguinte equação 1.4, [47]:

$$C = \frac{m_{sat} - m_{seco}}{A\sqrt{t}} \times 10^3 \quad (1.4)$$

em que:

m_{sat} representa a massa dos provetes após absorção de água por capilaridade (g);

m_{seco} representa a massa dos provetes secos (g);

t é o tempo em horas

A representa a área do provete (mm^2).

5.3.6. Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo a Norma EN 772-11 ou EN 772-7

Desconhecendo as normas EN 772-11 ou EN 772-7, apenas permite fazer a identificação das normas, correspondente à metodologia do ensaio de absorção de água, para determinar o valor de C nos tijolos.

Tabela 30 Norma aplicável para o tijolo, EN 772-1 (EN 772-11 ou EN 772-7)

Propriedades / Normas de Referência	Norma Harmonizada	
	EN 771-1:2010	Observações
Absorção de água (não aplicável para tijolos de uso interior) (EN 772-11), quando não ultrapassa o definido	◊	EN 772-7 Metodo utilizado em água fervida A norma EN 772-11 apresenta que quando for relevante para o uso pretendido, o fabricante deve declarar o valor de absorção de água, através do ensaio de imersão do provete para o período de 60 s ± 2 s.

Legenda ◊ - Ensaio Obrigatório ● - Ensaio Recomendado

5.3.7. Metodologia para determinação do coeficiente de capilaridade, segundo CEN / CT 139

Segundo a comissão técnica, foram classificados os materiais de construção, conforme apresentado na tabela 31.

Tabela 31 Classificação dos materiais de construção em função do coeficiente de absorção de água segundo a Comissão Técnica (CEN/CT 139)

Coefficientes de Absorção de água W ($\text{kg.m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}$)	Classificação dos materiais	Classe
$w < 0,1$	Impermeável à água	I
$0,1 < w < 0,5$	Repelente à água	II
$0,51 < w < 2,0$	Resistente à água	III
$x > 2,0$	Permeável à água	IV

6. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS EM ESTUDO E SUA ORIGEM

6.1. Adobe

6.1.1. Introdução

Desde tempos imemoráveis, o adobe, foi usado na construção de habitações e monumentos, que ainda perduram, alguns com mais de 4000 anos de existência. Existem elementos de adobe aplicados nas suas construções, por Egípcios, Árabes e Romanos.



Figura 18 Pirâmides Egípcias

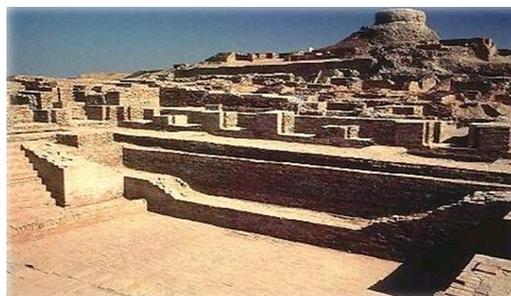


Figura 19 Cidade de Harappa

Recentemente foi descoberto, no interior da pirâmide uma câmara, através da técnica de tomografia realizada a partir de raios cósmicos, compostos por partículas elementares altamente energéticas que atravessam o espaço em todas as direções a uma velocidade muito próxima da luz, [49].



Figura 20 Muralha da China, [50]

A construção das Muralhas da China (Fig. 20) foram iniciadas por volta do ano 220 A.C, tendo terminando apenas no século XV, durante a dinastia Ming, [50].

No Vale do Rio Indo, perto da fronteira entre o Paquistão e a Índia, foram construídas uma das cidades mais desenvolvidas da antiguidade (Fig. 19), não eram egípcios, mesopotâmios e nem chineses, [51].

A construção antiga de terra em Portugal, é predominante na zona aluvionar do Baixo Douro, Região de Aveiro, Alentejo e Algarve. Para o estudo laboratorial e realização de ensaios não destrutivos ao adobe, foram colhidas amostras em duas edificações antigas da Freguesias da Trofa, que faz parte da União de freguesias da Trofa, Segadães e Lamas do Vouga, do concelho de Águeda, distrito e diocese de Aveiro. O adobe “Duarte de Lemos” foi extraído de um muro degradado (fig. 23), que remonta aproximadamente, à mesma época de construção da Igreja da Trofa (fig. 21 e 22). Esta igreja, faz parte da História de Portugal, mais propriamente desde a segunda metade do século XV e pertenceu a uma família de fidalgos com o apelido de “Duarte de Lemos”.



Figura 21 Monumento Nacional: Igreja da Trofa, Panteão Nacional dos Duarte de Lemos

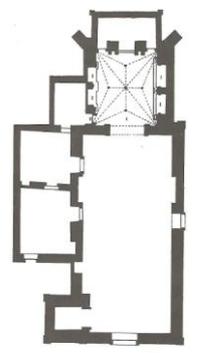


Figura 22 Planta da Igreja da Trofa, Panteão Nacional dos Duarte de Lemos



Figura 23 Casa Senhorial “Duarte de Lemos”, Trofa, Águeda, distrito de Aveiro, amostra para ensaios laboratoriais

O adobe nunca foi um material de construção padronizado, tendo o seu processo de fabrico realizado com terra arenosa e húmida, que após a amassadura e enformados eram secos ao sol. Para melhorar o seu desempenho mecânico incluía-se cal e por vezes palha. A figura 21, identifica a habitação senhorial do fidalgo Duarte de Lemos, donde foi colhida uma amostra de adobe, que se encontrava junto da via pública.

6.1.2. Vantagens e desvantagens de uma construção em adobe

Tabela 32 Vantagens e desvantagens da construção em adobe

Vantagens	Desvantagens
Adequadas características térmicas	Fraca resistência à tração
Abundância de matéria-prima	Impossibilidade de construir em altura e em zonas sísmicas
Baixo consumo energético no processo de fabrico	Sensível à presença de água
Incombustível	
Reciclável e reutilizável	

6.1.3. Resultados de estudos realizados no adobe, com recurso a metodologias de ensaios

Existem alguns estudos de caracterização de adobe a várias casas e muros de edificações antigas na região de Aveiro, que comprovam que as tensões resistentes de tração e compressão obtidas para construções em adobe de Aveiro são superiores, comparativamente a outros estudos realizados (Vargas et al.), nomeadamente em zonas onde até a construção em adobe é tradicional, a referir: Perú: Cajamarca; Cuzco; Huancayo B.; Huaraz, Pisco e PUC. Do estudo concluiu-se indicações práticas que auxiliam a realização de projetos de reabilitação e reforço de construções de adobes, nomeadamente quanto à quantidade de cal utilizada, assim como a utilização de maiores frações de agregados com pequenas dimensões, que são as que correspondem a valores de resistência à compressão e tração superiores. [52].

O adobe continua a satisfazer as funções para as quais foram executados, demonstrando a longevidade do adobe como material de construção. Existem vários tipos de depósitos naturais de argilas e que qualitativamente e quantitativamente, se poderiam distinguir, por uma separação granulométrica nas duas frações: acima ou abaixo de 2 μm e que consequentemente alteram as suas propriedades térmicas e hídricas do adobe, [53].

O adobe não é muito resistente à água, pelo que o processo construtivo mais adequado para a execução de paredes de uma edificação, seria protegê-lo da humidade ascensional. Por essa razão, vê-se algumas edificações com o adobe assente sobre um primeiro alicerce em pedra, evitando assim o contacto direto com o solo. No caso dos poços de água, a opção passava pela seleção de adobe de comportamento melhorado com recurso à adição de cal, garantindo assim o adequado comportamento e durabilidade, apesar do contacto com a água. O adobe de Aveiro, é essencialmente construído por solos arenosos, tendo presença de argilas e cal aérea, [52]. Existem ainda estudos que determinaram a resistência mecânica do adobe, como avaliaram a potencialidade do ensaio não destrutivo (ultra-sons). Para isso, foi estudado a correlação entre a resistência dos provetes à compressão e o seu módulo de elasticidade, por

meio da relação entre a velocidade de propagação das ondas no material e os parâmetros mecânicos em estudo, conforme demonstrado pelo gráfico 5, [54].

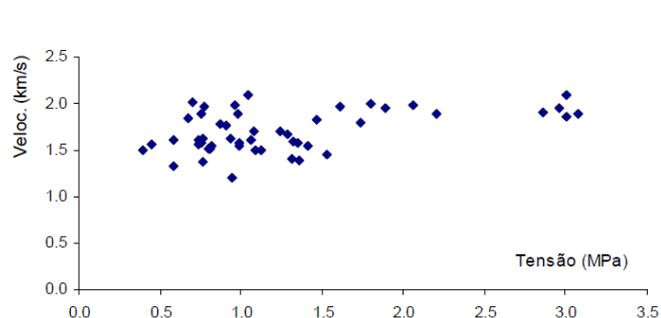


Gráfico 5 Resultados do ensaio ultra sons e resistência à compressão mecânica. Fonte: Varum, H. et al, [54]

No estudo com recurso ao ultra-sons, foi considerado três estados; o saturado, à humidade ambiente e seco, tendo-se obtido uma correlação reduzida, o que conseqüentemente indica que o ensaio realizado com ultra-sons, não é adequado para estimar a resistência do adobe, porém conforme ilustra o gráfico 5, observa-se uma tendência de maiores velocidades para as amostras com maiores resistências. Os resultados obtidos para a resistência à tração, correspondem a valores de aproximadamente 20 % da resistência à compressão respetiva, [54]. Segue-se a distribuição das frações granulométricas das construções em terra, por forma a reconstruir o edificado preservando-o com os seus materiais de construção originais, com vista a se aumentar a vida útil do edificado, que conseqüentemente dependerá do seu comportamento à água, [54].

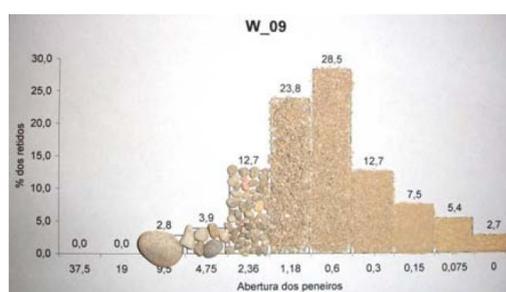


Figura 24 Percentagens de material retido nas respetivas aberturas de peneiros. Fonte: Varum, H. et al, [54]

A caracterização do solo para produção do adobe, deve incluir argilas, siltes, areias e cascalhos, devendo obter uma percentagem elevada de areia e cascalho, sendo imprescindível a introdução de materiais estabilizantes, que pretendem corrigir as características e



Figura 28 Aldeia histórica de Piódão



Figura 29 Construção de um arco para passagem pedonal em xisto, Piódão

Presentemente, preservam-se casas de construção tradicional portuguesa em xisto (fig. 28), sendo um foco de atração turística as chamadas “aldeias históricas de Portugal”, dado que são apreciadas as construções com traços arquitetónicos tradicionais e rurais no meio da natureza, (fig. 29).

6.2.2. Vantagens e desvantagens de uma construção em rocha

Identificam-se na tabela 33, algumas vantagens e desvantagens relativamente às construções construídas em rocha.

Tabela 33 Vantagens e desvantagens da construção em rocha	
Vantagens	Desvantagens
Maior valor comercial, estético, cultural e de integração urbana	A elevada espessura da parede origina uma menor aproveitamento da área de construção
Durabilidade potencialmente elevada	O elevado peso próprio potencia elevadas solicitações gravíticas e sísmicas
Bom isolamento aos sons aéreos	Se porosidade alta, desempenha um mau comportamento à água e consequentemente menos resistente
Razoável comportamento ao fogo	Execução bastante morosa
Grande inércia térmica	Mau comportamento acústico em termos de refração
Se porosidade baixa, desempenha excelente comportamento à água e consequentemente mais resistente	Elevado custo matéria prima e mão de obra

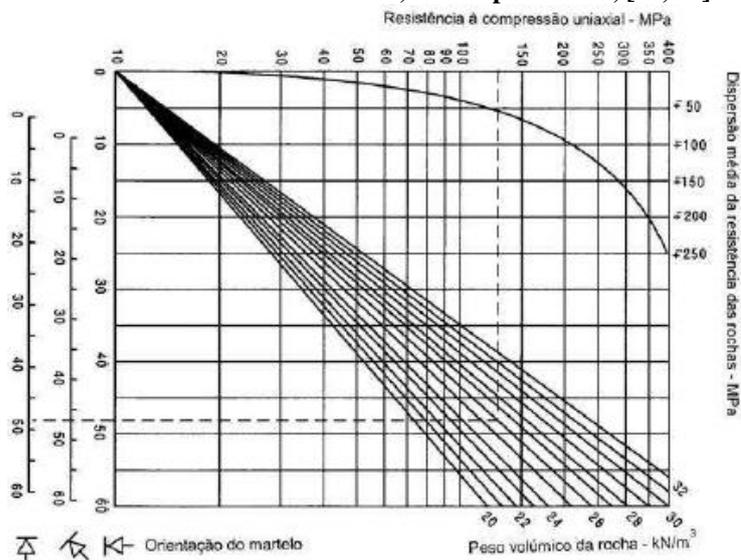
6.2.3. Resultados de estudos realizados nas rochas, com recurso a metodologias de ensaios

6.2.3.1. Resistência: Ensaio com o esclerómetro

Para aferir a resistência da rocha, existe a possibilidade de recorrer ao martelo de Schmidt (esclerómetro). Através de ensaios não destrutivos, nomeadamente o recurso ao esclerómetro,

é possível determinar a resistência à compressão obtida, por meio do gráfico 6, quando correlacionada com a sua dureza, chamada dureza de Schmidt (R) de acordo com o seu peso volumico.

Gráfico 6 Resistência da rocha, obtida por Ábaco, [59, 60]



6.2.3.2. Dureza

Em 1822, Friedrich Mohs, um mineralogista, concebeu a escala de dureza, a chamada escala de Mohs, que é utilizada para a classificação mineralógica das rochas, segundo a tabela 34.

Em termos geológicos, a dureza é uma propriedade importante atendendo que traduz a facilidade ou dificuldade que um mineral se desgasta quando submetido à ação abrasiva da água, do vento e do gelo nos processos de erosão e transporte, [60].

Tabela 34 Classificação mineralógica da rocha, escala de Mohs (palito:1; Vidro: 5 a 5,5; Ferro:5,5)

Mineral	Grau de dureza
Talco	1
Gesso	2
Calcite	3
Fluorite	4
Apatite	5
Ortoclase	6
Quartzo	7
Topázio	8
Corindo	9
Diamante	10

Tabela 35 Classificação expedita quanto à sua resistência ao serrar

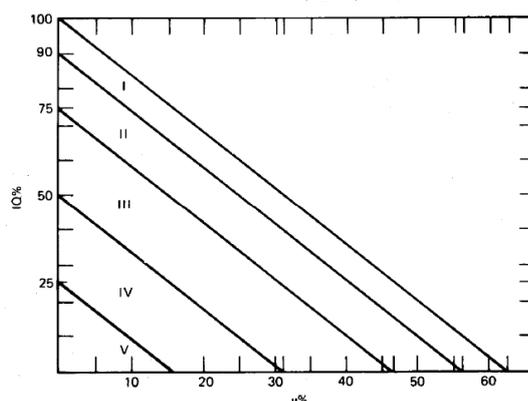
Tipo de Rocha	Resistência ao serrar
Rocha branda	Facilmente serradas
Rocha semi-dura	Facilmente serradas com disco
Rocha duras	Só serradas com disco
Rochas duríssimas	Serradas com disco de diamante

Uma metodologia mais expedita para avaliar a dureza da rocha é a que se têm em conta quanto à resistência que a mesma oferece quando se tenta serrar, conforme mencionado na tabela 35.

6.2.3.3. Qualidade da rocha

Para determinar a qualidade da rocha segundo o ábaco de Formaintraux, deve-se utilizar o dispositivo de medição da velocidade de propagação do som, este último método mais preciso que o esclerómetro, que se baseia na propagação de velocidades através da pedra, [59, 60].

Gráfico 7 Classificação da qualidade das rochas em função do seu estado de fissuração. Fonte: Formaintraux, [59, 60]



A qualidade da rocha em relação ao seu estado de alteração, é avaliada pelo índice de qualidade da rocha determinado pela equação 1.5.

$$IQ = \frac{V_p}{V_p^*} \times 100 \% \quad (1.5)$$

onde,

IQ é o índice de qualidade da rocha, que pode ser consultado pelo gráfico de Formaintraux

V_p é a velocidade sísmica longitudinal em função da porosidade, segundo tabela 36.

V_p^* é a velocidade padrão da rocha com porosidade nula, segundo tabela 38.

Tabela 36 Resultados da variação da velocidade das ondas sísmicas longitudinais em função da porosidade, [59].

Porosidade total n %	V_p (m/s) - calcários	V_p (m/s) - grés e quartzitos
1	6500	5900
5	6000	5200
10	5200	4700
20	4000	3200
30	3000	-
45	1850	-

Este método pode ser utilizado para aferir se existem discontinuidades nas rochas e quantificá-las através da razão do valor medido de V_p (velocidade sísmica longitudinal na rocha estudada) e do valor de V_p^* (velocidade máxima para a rocha de porosidade nula), calculado pela equação 1.6.

$$\frac{1}{V_p^*} = \sum \frac{C_i}{V_{pi}} \quad (1.6)$$

onde,

C_i é a percentagem em volume do constituinte mineral i da rocha

e

V_{pi} é a velocidade das ondas longitudinais do mineral i , conforme tabela 37.

Tabela 37 Velocidades dos minerais V_{pi} , [59].

MINERAL	V_p (m/s)	MINERAL	V_p (m/s)
Quartzo	6050	Calcite	6600
Olivina	8400	Dolomite	7500
Augite	7200	Magnetite	7400
Anfibola	7200	Gesso	5200
Moscovite	5800	Epidoto	7450
Ortoclase	5800	Pirite	8000
Plagioclase	6250		

Tabela 38 Velocidades padrões de rochas com porosidade nula, [59].

ROCHA	V_p^* (m/s)	ROCHA	V_p^* (m/s)
Gabro	7000	Dolomite	6500 – 7000
Basalto	6500 – 7000	Arenito e quartzito	6000
Calcário	6000 - 6500	Rochas graníticas	5500 - 6000

6.2.3.4. Porosidade da Rocha

Segundo Rocha, Fábio, Iliev (1966), Santarém Andrade (2004), Faim (2014), revelam que as propriedades físicas e mecânicas das rochas são condicionadas pela sua porosidade. Segundo Faim (2014) a presença de porosidade de uma pedra diminui a resistência e aumenta a sua deformabilidade. Jimeno (1996) refere que o mesmo tipo de rocha diminui de resistência a aumenta a sua deformabilidade, consoante aumente a porosidade, [60].

Formaintraux (1976) aferiu uma equação que com base na porosidade total, permite quantificar as rochas quanto à sua qualidade, [59, 60].

Tabela 39 Valores de porosidade de solo e rochas

Tipo de rocha ou solo	Porosidade máxima (%)
Solo	> 50
Areia e seixo	20 – 47
Argila	> 49
Areia cimentada	5 – 25
Arenito	10 – 15
Calcário e mármore	5
Calcário oolítico	10
Cré	até 50
Rochas ígneas	< 1,5
Rochas metamórficas	geralmente muito baixa

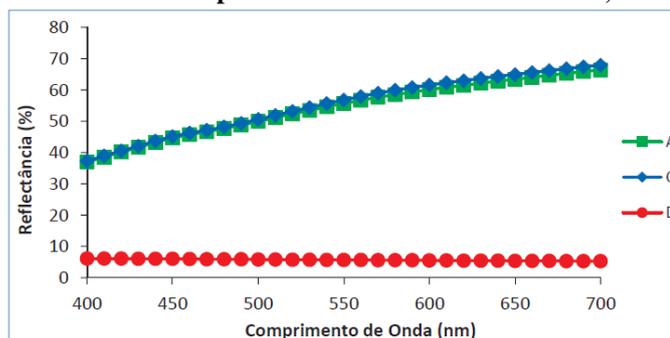
Tabela 40 Valores peso volúmico seco de algumas rochas

Rocha	γ_d (kN/m ³)
Granito	26,0
Diorito	27,9
Basalto	27,1
Sal-gema	20,6
Gesso	22,5
Calcário denso	20,9
Argilito	22,1
Xisto argiloso	25,7
Mármore	27,0
Micaxisto	27,6

Tabela 41 Permeabilidade do solo e rochas

Rocha	n	k (m / seg.)
Areia uniforme	29 - 50	$5,0 \times 10^{-5} - 2,0 \times 10^{-3}$
Areia e seixo	20 - 47	$1,0 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-3}$
Areia siltosa	23 - 47	$1,0 \times 10^{-5} - 5,0 \times 10^{-5}$
Argilas	> 49	$1,0 \times 10^{-10} - 1,0 \times 10^{-7}$
Granodiorito	0,004-0,005	$9,8 \times 10^{-11}$
Granito	0,008	$1,96 \times 10^{-10}$
Basalto	0,007	$2,94 \times 10^{-10}$
Calcário 1	0,004	$9,8 \times 10^{-11}$
Calcário 2	0,03	$9,8 \times 10^{-10}$
Calcário 3	0,39	$7,65 \times 10^{-6}$

Segundo Rocha, F., foi possível através de um espectrofotómetro portátil, obter a assinatura espectral de três amostras de calcário (gráfico 8), com uma faixa de comprimento de onda com um intervalo de 400 a 700 nm, com um intervalo de comprimento de onda de 10 nm. As amostras de calcário são todas de origem diferente, sendo a A e C ligeiramente brancas e a amostra D, ostenta uma cor cinzenta escura. [60].

Gráfico 8 Assinatura espectral do Calcário. Fonte: Rocha, Fábio [60].

Outros estudos de caracterização da assinatura espectral de absorção de minerais e rochas, utilizaram a região do infravermelho de ondas curtas (SWIR) e a região do visível ao infravermelho próximo (VNIR), tendo sido usado equipamentos para uma região espectral compreendida entre 350 a 2500 nm, [61].

6.3. Tijolo

6.3.1. Introdução

Está documentado que, desde há 8 a 7 milénios antes de Cristo, foram usados fornos para a queima de tijolos de argila, misturados com folhas secas ao sol. Na Ásia Ocidental, na zona

dos vales do Tigre e do Eufrates (Suméria, Babilónia e Assíria), não existiam quantidades abundantes de madeira e pedra para a construção, mas em contrapartida dispunham de elevadas reservas de barro para a produção de tijolos, tanto cozidos como crus, conforme exemplo da Mesquita de Samarra, (figura 30).



Figura 30 Mesquita de Samarra, Iraque, construída Sec. IX, muro de tijolo com 10 metros de altura e 2,65 m de espessura, [62]

Na época dos Gregos e dos Romanos os tijolos foram correntemente utilizados de várias maneiras, sendo particularmente adequados para a construção de arcos e abóbadas. No século V, os Bárbaros destruíram a Civilização Romana e, conseqüentemente, a perda da arte de manufaturar o tijolo. O tijolo cerâmico foi comumente usado na construção de chaminés e edifícios (fig. 31 e 32), quer sob a forma de revestimento cerâmico de paramentos ou pavimentos.



Figura 31 Antiga Fábrica Cerâmica Campos, construída em 1916, [63]



Figura 32 Praça dos Touros, Campo Pequeno construída em 1892, [64]

A praça de Touros do Campo Pequeno (fig. 32), foi construída em tijolo cerâmico de face à vista, e sofreu profundas obras de restauro no início do século XXI, com exceção do anel exterior que se manteve inalterado a nível estrutural, tendo sido apenas executadas pequenas reparações e reforços. Desde o séc. XX, as opções de alvenaria de pedra foram substituídas por paredes de tijolo cerâmico, tendo evoluindo da parede simples de pedra e tijolo até às recentes paredes duplas constituídas com várias opções e componentes (ex.º espessura da caixa de ar, isolamento, barreira para-vapor, escoamento da água e correção de pontes térmicas).

6.3.2. Vantagens e desvantagens do tijolo cerâmico

A tabela 42, apresenta as vantagens e desvantagens do tijolo cerâmico.

Tabela 42 Vantagens e desvantagens do Tijolo cerâmico

Vantagens	Desvantagens
Adequadas características térmicas	Fraca resistência à tração
Abundância de matéria-prima	Não adequado para zonas sísmicas
Incombustível	Alto consumo energético no processo de fabrico
Reciclável e reutilizável	Sensível à presença de água

6.3.3. Resultados de estudos realizados nos tijolos ou blocos, com recurso a metodologias de ensaios normalizados

Existem dois tipos de tijolos cerâmicos, os denominados “LD”, que representam as unidades cerâmicas detentores de uma massa volúmica seca bruta inferior ou igual 1000 Kg/m^3 , para uma utilização em alvenaria protegida e os designados “HD”, destinada para utilização não protegida e que possuem massa volúmica seca bruta maior do que 1000 Kg/m^3 , [65].

Os tijolos classificam-se em:

- Face à vista - quando a sua aplicação é ficarem aparentes, quer ao nível interior ou exterior da construção;
- Enchimento – tijolo sem função resistente;
- Resistente – tijolo com função estrutural na construção;

A criação de um novo tijolo, passa por assegurar o cumprimento de uma certa configuração geométrica em seções com furações (dimensões), e ainda determinar as suas propriedades quanto à sua resistência, comportamento ao fogo, assim como quanto ao seu comportamento térmico, acústico, entre outras, em função das condições de serviço. No que se refere a alvenarias simples com características físicas de elevado desempenho acústico, não só em termos de isolamento, mas também em termos de absorção sonora, os blocos de betão com leca® são a eleição (fig. 33), tendo sido inumeramente aplicados, com vista a absorver o ruído provocado quer nas vias de comunicação (barreiras acústicas) ou anfiteatros.

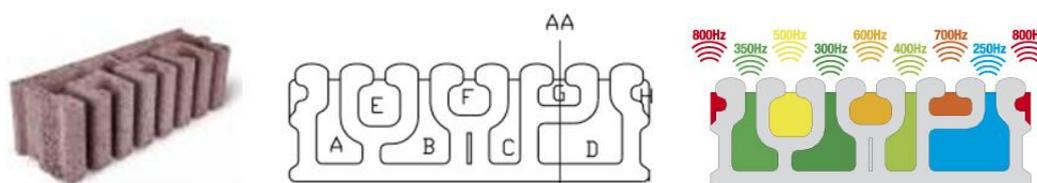


Figura 33 Blocos acústicos com Leca®, com aplicação de barreiras acústica [70], [71]

Existem tijolos com função estrutural ao sismo, em respeito das exigências específicas estabelecidas no E.C.8, caso contrário, definem-se por duas categorias I (possuem nível de resistência à compressão declarada, com margem de erro igual ou inferior a 5 %) ou II (não possui o nível de confiança da categoria I).

No que diz respeito à segurança contra o incêndio, o tijolo não deve potenciar o início e desenvolvimento do incêndio nas paredes de alvenaria. Esta avaliação é aferida em termos de classes de reação ao fogo, que variam entre A1 a F, sendo a A1 que representa que o material não contribuí para o fogo e a classe F representa um material sem qualquer especificação, em virtude de não ter passado com um comportamento especificado de proteção ao incêndio, sendo estas opções fundamentais para que a edificação cumpra com os critérios previstos no Regulamento de Segurança contra Incêndios em Edifícios (SCIE). A referir, os tijolos cerâmicos com massa ou volume, inferiores ou igual a 1%, de materiais orgânicos e fabricados com propriedades homogêneas, são diretamente classificados por A1, sem a necessidade de atestar através de ensaios, caso contrário, têm de assegurar a realização de ensaios nos termos definidos na norma 13501-1.

O fabricante do tijolo ou bloco é obrigado a declarar as características térmicas do mesmo, através da divulgação da condutibilidade térmica equivalente, ensaiadas de acordo com a norma EN 1745 e que contempla a contribuição térmica das juntas de argamassa.

O fabricante deve realizar ensaios de acordo com a norma EN 12572, para aferir a absorção de água e do coeficiente de difusão do vapor de água, quando se trate de comercializar tijolos para paredes exteriores, ou quando estas constituem uma barreira contra a capilaridade.

Ainda, deve ser atestada a durabilidade do tijolo para aplicações exteriores, segundo a norma EN 771, podem ser avaliados os teores de sulfatos solúveis e a resistência ao gelo / degelo do tijolo.

Apresenta-se na figura 34, uma ilustração do fenómeno de refração, que dependendo das características do material, pode ocorrer refração para várias direções.



Figura 34 Comportamento em termos de refração do som, no paramento

A tabela 43, apresenta o conjunto de propriedades do tijolo cerâmico, [65].

Tabela 43 Características do material cerâmico tradicional, (Tabela adaptada), [65]

Características do material cerâmico	Valores	Bibliografia
Massa volúmica aparente (kg/m ³)	1800 – 2000	[66]
Porosidade aberta (%)	20 – 30	
Absorção de água por imersão a frio (%)	9 – 13	
Coefficiente de saturação	0,6 – 0,8	
Absorção de água por capilaridade (1 min) (g/dm ² .min ^{0,5})	11	
Expansão por humidade (mm/m)	0,9 – 1,7	
Condutibilidade térmica (w/mk)	0,5 – 0,7	
Coefficiente de absorção da radiação solar	0,65 – 0,8	[67]
Humidade de equilíbrio (%)	0,11	
Módulo de elasticidade longitudinal (MPa)	8300	
Coefficiente de Poisson	0,2	
Dilatação térmica linear (m/m.°C)	3,5 – 5,8 x 10e-6	[68]

A tabela 44, apresenta um conjunto de várias propriedades dimensionais e mecânicas, sendo que o tijolo pode possuir uma resistência unitária de compressão de 1,9 MPa até cerca de 25 vezes mais, [65].

Tabela 44 Características dos tijolos cerâmicos tradicionais, [65]. [69]

Características	Resistência mecânica por compressão (MPa)	Massa (Kg)
22 x 11 x 7 (maciço)	17 – 48	2,5 – 3,5
30x20x7	3,7 – 7,0	3 – 5
30x20x9	3,0 – 5,7	3,5 – 5,5
30x20x11	2,8 – 5,2	4 – 6
30x20x15	2,5 – 4,9	5 – 7
30x22x20	1,9 – 3,9	7 – 11

A figura 35 identifica várias zonas de risco numa habitação, devido a pontes térmica, sendo por isso, de extrema importância a seleção dos revestimentos mais adequados, que dependem da geometria e características dos materiais envolventes.

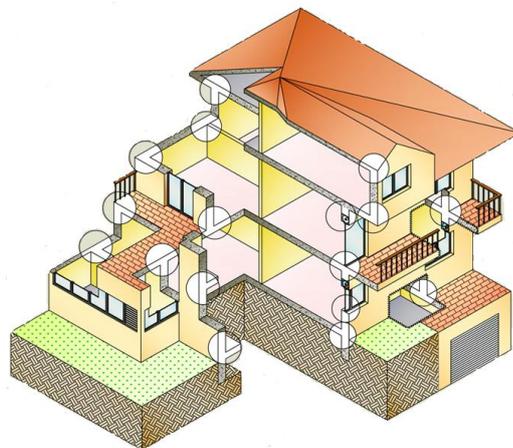


Figura 35 Esquema de habitação, com identificação de possíveis pontes térmicas. Fonte: Itecons, [72].

A humidade por condensação é um tipo de dano numa habitação que pode ser corrigida. De modo a evitar a ocorrência das condensações, sendo fundamental ventilar o espaço interior e isolar.

Pela figura 36, percebe-se que com o aumento da temperatura das paredes, conseqüentemente potencia a redução do grau de saturação.

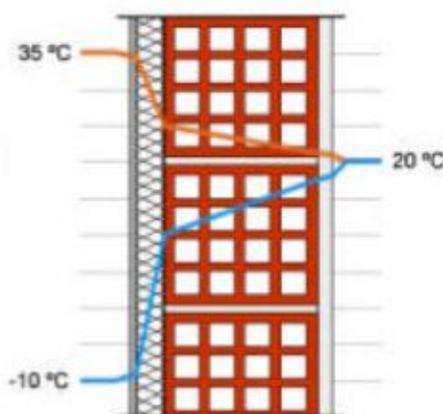


Figura 36 Temperatura interior de uma parede simples, com isolamento térmico, Fonte: Freitas, 2002, [73]

7. COMPORTAMENTO HÍGRICO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO USADOS EM REVESTIMENTOS EXTERIORES

7.1. Capilaridade

Segundo Alfano et al. (2006), a capilaridade caracteriza-se por um movimento vertical ascendente de águas subterrâneas através de uma estrutura de parede permeável, causando a aparência de um aumento de humidade na mesma, [74].

Através da figura 37, observa-se que a água possui forma côncava e a tensão superficial força o líquido a subir.

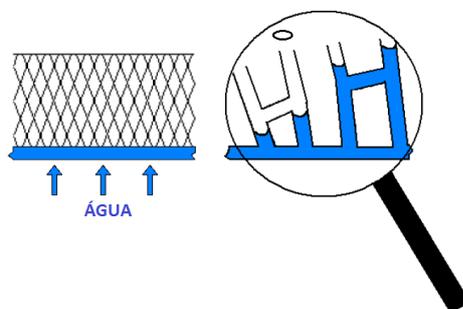


Figura 37 Fenómeno da Capilaridade, Fonte: Silva, E. (adaptado de Freitas et al, 2008), [46]

Os materiais de construção possuem poros de diferentes formas e diâmetros diferentes, o que significa que possuem espaços vazios de ar. O parâmetro principal da microestrutura de cada material é a porosidade total do material, que é definido como a razão entre o volume de vazios divididos pelo volume total do sólido (Amoroso e Camaiti, 1997) e podem ser distinguidos por famílias de microporos, mesoporos e macroporos. [74].

Tabela 45 Classificação dos poros segundo o seu diâmetro, [74]

De acordo com a IUPAC		De acordo com Mehta (1986)		De acordo com Mindess et al (2003)	
Nome	Tamanho poros	Nome	Tamanho poros	Nome	Tamanho poros
Microporos	até 2 nm	C-S-H	1 - 3 nm	microporos "inter layer"	até 0,5 nm
				microporos	0,5 - 2,5 nm
Mesoporos	2 - 50 nm	poros capilares (baixo W/C)	10 - 50 nm	Pequenos (gel) capilares	2,5 - 10 nm
		poros capilares (alto W/C)	3 - 5 μ m	Medius capilares	10 - 50 nm
Macroporos	> 50 nm	vazios arrastados	50 μ - 1 mm	Longos capilares	50 nm - 10 μ m
				Entrada de ar	0,1 - 1mm

A estrutura dos poros, é caracterizada pela sua forma, tamanho, distribuição e rede dos poros, sendo muito difícil de determinar, uma vez que o aumento capilar ocorre dentro dos poros capilares, contudo, entre os pesquisadores, referem que a sua faixa é considerada entre 10 nm a 10 μm , [74].

Os materiais porosos contêm pequenos vazios preenchidos por ar, água ou vapor de água. Conforme se pode observar pela figura 38, os poros são abertos quando existe uma rede contínua de vazios interligados, ou podem ser fechados figura 39, quando são dispersos e não existe ligação entre os vazios.



Figura 38 Porosidade aberta,

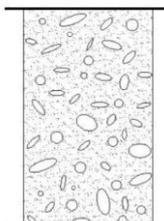


Figura 39 Porosidade fechada

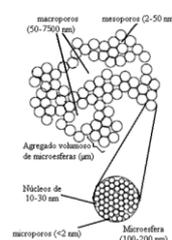


Figura 40 Tamanho dos poros, segundo International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC

Os poros que se comunicam com a superfície externa são chamados de poros abertos, encontram-se representados na figura 38 e 41. A uma escala mais reduzida, os poros (b), (c), (d), (e) e (f), são acessíveis por moléculas ou iões envolventes circundantes.

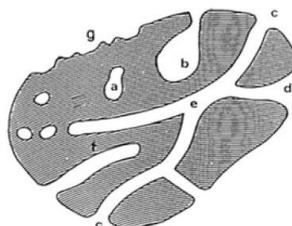


Figura 41 Classificação dos poros consoante a maior facilidade de circulação: a) poros fechados; b e f) poros cegos; c, d e g) poros abertos; poros abertos em dois lados, [47]

Os poros que são abertos apenas numa extremidade (b, f), são identificados por poros cegos. A porosidade entende-se pelo seu conteúdo de poros, não necessariamente comunicantes, que conseqüentemente, não permite a circulação de um líquido. A Permeabilidade entende-se como uma propriedade do fluxo e indica a facilidade com que um determinado meio poroso se deixar percolar por um líquido, sob a ação de uma diferença de pressão, [15].

A água subterrânea pode subir para a estrutura dos poros de um material de construção por força da capilaridade, sendo a capilaridade maior para os pequenos capilares e inversamente

proporcional ao raio do poro de acordo com a lei de Jurin. A lei de Jurin é referida à altura h da elevação vertical num poro capilar e é dada pela equação 1.7, [74].

$$h = \frac{2 \sigma \cos\theta}{\rho g r} \quad (1.7)$$

em que:

- r é o raio médio do poro capilar,
- σ (N/m) - tensão superficial do líquido ($72,75 \cdot 10^{-3}$ N/m com temperatura ambiente a 20°C)
- θ o ângulo de contacto com a água (para líquidos é 0°)
- ρ (kg/m^3) – massa volúmica
- g (m/s^2) – $9,8 \text{ m/s}^2$, aceleração por gravidade

Conforme figura 42, a ação capilar depende do raio do tubo capilar, quanto menor for a largura do tubo, maior é a sua altura capilar.

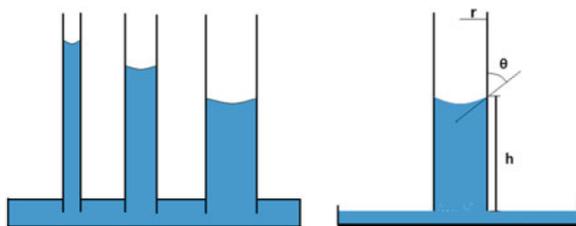


Figura 42 Ilustração do fenômeno da capilaridade, dependendo do raio capilar. Fonte: Maropoulou et al (2016), [74].

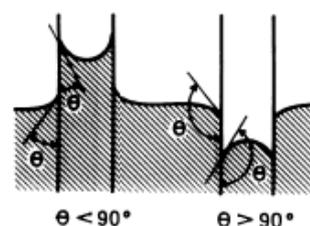


Figura 43 Ilustração do fenômeno da capilaridade côncava ou convexa. Fonte: Martin Krus, Verlag (1996), [75].

A capacidade de absorção resulta da tensão superficial dos líquidos e da humidificação dos corpos sólidos em contato com o líquido, conforme figura 43.

Na figura 43, visualiza-se o tubo parcialmente preenchido, desenvolvendo-se uma flexão côncava ou convexa da superfície (menisco) devido à tensão superficial do líquido e à tensão interfacial entre líquido e parede, que pode ser positiva ou negativa, e a superfície curva do líquido cria uma pressão direcionada ao centro da curva.

Segundo Martin Krus (1996), citou que alguns investigadores, conseguiram demonstrar que o efeito da gravidade só começa a afetar o transporte de líquidos em raios de poros superiores a 10^{-6} m; pelo que esta condicionante é excluída para os materiais ensaiados por capilaridade (figura 42), em que o fenômeno de sucção ocorre em sentido contrário ao da gravidade. Ainda

refere, quanto à existência de uma correlação entre o teor de humidade de um material poroso capilar e a sua pressão capilar definida pela dimensão dos poros. Quando colocados num ambiente com variação da humidade relativa, o teor de humidade também varia, [75].

Os espaços vazios constituem uma rede interna por onde circula a água sob a forma de líquido ou vapor. Os materiais com porosidade aberta conduzem a água por capilaridade que é tanto maior quanto menor for o diâmetro dos poros.

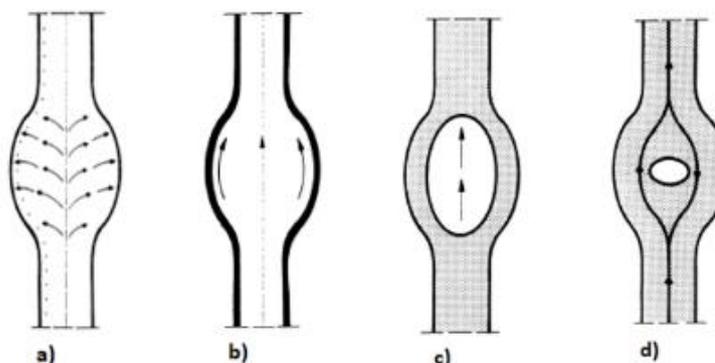


Figura 44 Processo de circulação da água, ao nível de vários índices de humidade, Fonte: Martin Krus (1996), [75].

A figura 44 e o correspondente gráfico 9 ilustra o processo de circulação de água ao nível de vários índices de humidade a), b), c) e d) e demonstra consoante o faseamento do modelo capilar, o poro com um diâmetro variável, a referir:

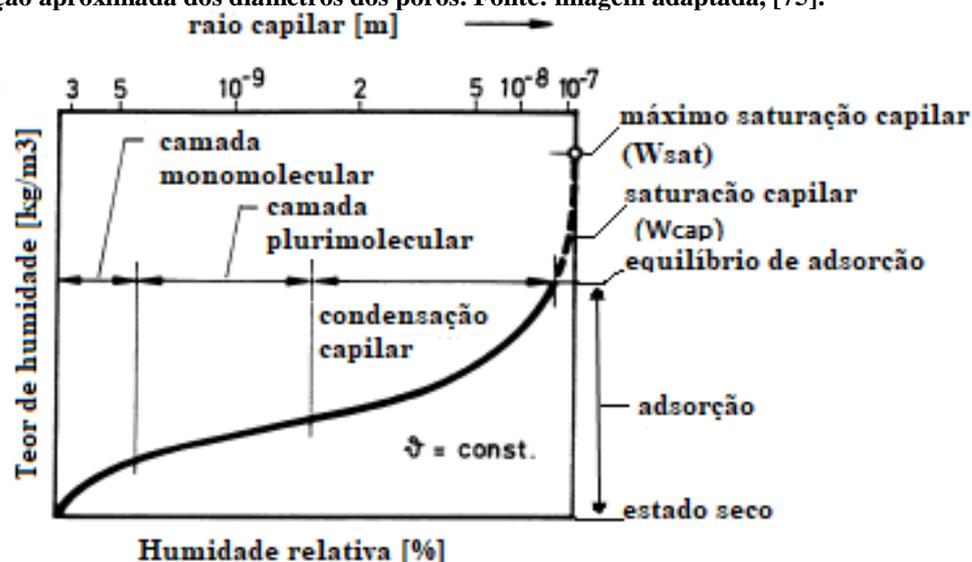
- a) Difusão de vapor ou adsorção de efusão (camada monomolecular e plurimolecular)
- b) Difusão da superfície de difusão do vapor (filme de adsorção)
- c) Difusão de vapor, superfície difundida condução capilar (condensação capilar)
- d) Condução capilar (humidade super-higroscópica até saturação capilar)

O gráfico 9, representa a curva higroscópica de um material poroso, dividida em três zonas que caracterizam a acumulação de água, nomeadamente; a fase da adsorção, a fase da água capilar e a fase da supersaturação.

A primeira etapa ocorre, quando a região de humidade por adsorção é caracterizada pela acumulação de água referida como adsorção do ar húmido circundante até que um estado de equilíbrio seja atingido – adsorção monomolecular.

Num ambiente com presença de humidade no ar, os materiais retêm por adsorção o vapor de água até atingirem um certo equilíbrio com o ambiente, que se designa por teor de humidade higroscópica.

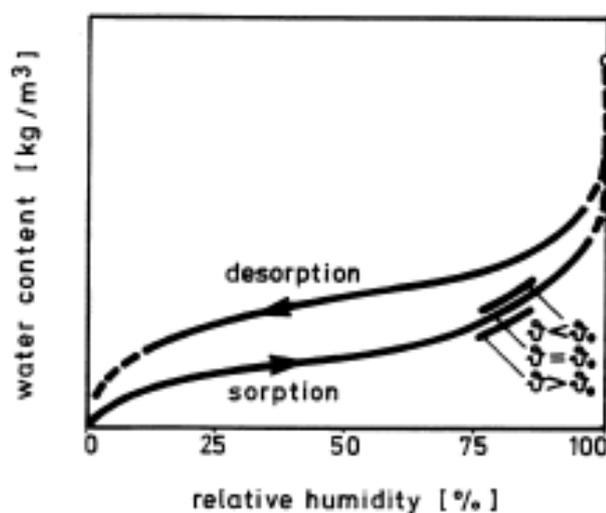
Gráfico 9 Representação típica da curva de adsorção isotérmica para materiais higroscópicos e com indicação aproximada dos diâmetros dos poros. Fonte: imagem adaptada, [75].



Para isotermas de absorção de materiais de construção porosos higroscópicos assume o perfil típico de curva em forma de S (gráfico 9). Este efeito é amplamente visto como resultado de características de humidades diferentes para adsorção e desadsorção ou outros fenômenos criados pela geometria do espaço de poro. No entanto, segundo Kunzel refere que, para a maioria dos materiais de construção, o efeito é tão leve que a isoterma de adsorção é adequada para caracterizar a região de humidade, [75].

O gráfico 10 indica que o processo de desadsorção é mais célere, comparativamente à velocidade ao longo do momento da absorção de água, por capilaridade.

Gráfico 10 Curva de adsorção ou desadsorção da circulação da água



Segundo Martin Krus, é possível correlacionar para os materiais higroscópicos, o teor volumico de água com a variação da humidade relativa, conforme demonstra o gráfico 10,

indicando uma curva com o efeito S. No âmbito desta dissertação, serão correlacionados os valores dos teores volúmicos de humidade determinados no laboratório, para o instante correspondente à leitura termográfica da humidade máxima superficial, cujos resultados serão apresentados no capítulo 9.

A massa correspondente a cerca de 15% de humidade relativa é estabelecida por revestimento monomolecular da superfície sólida, seguida de transição para uma área de revestimento plurimolecular da superfície sólida, que continua a crescer de forma linear, até terminar em cerca de 50% de humidade relativa. A massa subsequente do aumento progressivo da humidade, é atribuído à condensação capilar. Esta fase depende do aparecimento do fenómeno da condensação sobre o micróporo com um raio de comprimento aproximado entre 2×10^{-9} e 10^{-7} m, [75].

Em humidades relativas acima de 95%, a curva de adsorção aumenta muito acentuadamente, sendo nesta zona, que se inicia a humidade capilar, frequentemente chamada por região super-higroscópica. Esta zona, define-se pela capacidade dos materiais higroscópicos porosos capilares absorverem água até atingir a saturação capilar, sendo definida como o teor de humidade no material, W_{cap} , obtido por meio da absorção natural com pressão normal sem a influência das forças exteriores (imersão parcial). A razão pela qual nem todos os poros num espaço são preenchidos, deve-se à presença de bolhas de ar que ficam aprisionadas.

A saturação capilar só pode ser excedida pela aplicação de pressão externa W_{sat} , quer por meio de vácuo para expulsar o ar preso ou a condensação forçada pressionando abaixo do ponto de condensação. Outra possibilidade reside na imersão em água, já que o ar preso se dissolve na água ao longo do tempo.

Segundo Martin Krus, estudos realizados, demonstram que nunca alcançaram qualquer equilíbrio de humidade, através do transporte capilar entre supersaturados e regiões saturadas capilares, mesmo aquando expostas num período de 40 dias. Assim, dada à dificuldade em se obter o teor de humidade máximo, atendendo ao aprisionamento interior dos poros no esqueleto, optam por definir o teor de humidade de saturação capilar, w_{cap} , (imersão parcial).

7.2. Coeficiente de capilaridade

O coeficiente de capilaridade expressa a taxa de absorção de água devido a forças capilares para materiais de construção, aquando em contacto com água.

Segundo Maropoulou, A. et al, determinaram o coeficiente de capilaridade do tijolo, A_w , segundo 3 metodologias diferentes, a referir a metodologia de uma tangente segundo a EN

1925 (gráfico 11), a metodologia de duas tangentes segundo a Normal 11/85 (gráfico 12) e a metodologia de 30 minutos segundo a UNI 10859 (gráfico 13), [74].

Aquando a 1.^a fase, a água sobe devido às forças capilares que se formam no interior da estrutura porosa do material, correspondendo ao momento em que preenche a maioria dos poros.

Gráfico 11 Metodologia de uma tangente, EN 1925.
Fonte: imagem adaptada de A. Maropoulou et al, [74]

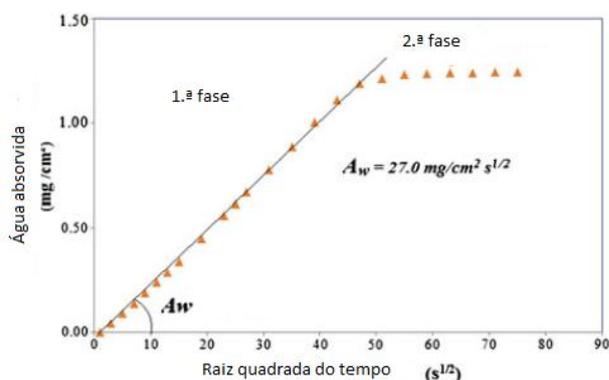


Gráfico 12 Metodologia de duas tangentes Normal 11/85. Fonte: imagem adaptada de A. Maropoulou, et al [74]

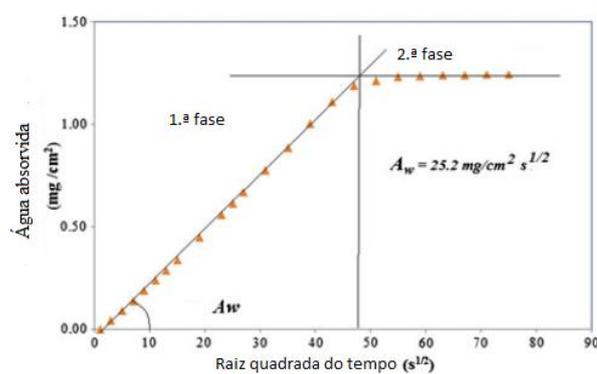
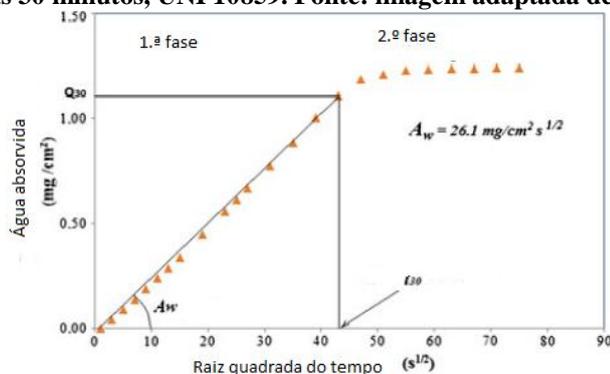


Gráfico 13 Metodologia as 30 minutos, UNI 10859. Fonte: imagem adaptada de A. Maropoulou, et al [74]



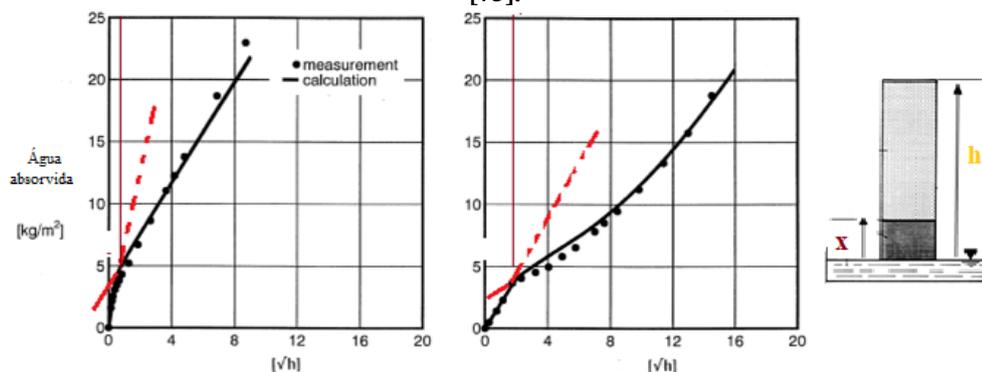
A determinação do teor de saturação capilar, W_{cap} foi obtido para os três métodos, com tempos diferentes, representando o ponto de inflexão específico, que traduz o momento exato a considerar em cada método.

A 2.^a fase, ocorre quando é considerada a ascensão capilar máxima, por imersão parcial. Nesta fase, o teor de humidade, torna-se mais lento resultante da estabilização da massa e que corresponde à fase em que encontra o ar que está aprisionado nos poros da amostra.

O declive da reta da 1.^a fase permite determinar o coeficiente de capilaridade.

Segundo Martin Kruz (1996), a absorção de água por capilaridade dos materiais, segue a “lei da raiz quadrada do tempo”, sendo facilmente distinguido a diferente evolução da absorção de água, dependendo das características hígricas dos materiais constituintes ou interligados.

Gráfico 14 Curvas de absorção de água, entre dois materiais com posicionamentos trocados. Esq.. 2 cm material 1 / 18 cm material 2. Dir.: 2 cm material 2 / 18 cm material 1. Fonte: figura 53 e 54 adaptadas, [75].



O gráfico 14 (à direita), permite concluir que o material que ficou na base inferior, retarda a absorção de água do material posicionado ao nível superior, o contrário não se verifica com a troca de posição dos mesmos materiais, conforme gráfico esquerdo. No gráfico direito, o material 2 tem uma grande influência no comportamento de absorção do material 1. Apesar do seu alto coeficiente de absorção de água, o material 2 absorve água com mais lentidão do que o material 1, o contrário não se verifica no gráfico esquerdo.

Segundo Martin Krus, num estudo de acréscimo da quantidade de ar introduzido num betão, com um adjuvante específico, do tipo introdutor de ar, permitiu a libertação do hidrogénio aquando a cura, com uma porosidade aproximada em cerca de 72 % do seu volume e com uma densidade de 600 kg/m^3 . Contudo esse significativo aumento de porosidade, não potenciou da mesma forma relevante uma manifesta redução dos valores de saturação capilar e do coeficiente de absorção de água. Foi ainda identificado, um estudo em que o tijolo possuía uma massa específica de cerca de 1700 kg/m^3 , com uma porosidade correspondente a 38% do seu volume e uma saturação capilar de água quase do mesmo tamanho, tendo resultado uma capacidade de adsorção muito baixa, por contrário um coeficiente de absorção de água alto. Ainda, outro estudo, um gesso cartonado, com teores de saturação capilar bastante elevados, em cerca de 40% do seu volume, obteve-se coeficiente de absorção de água alto e uma capacidade de adsorção muito baixa, [75].

8. ENSAIO LABORATORIAL

8.1. Introdução

A absorção de água pode ocorrer através da imersão, aquando o material está em contacto com a água e a absorção desenvolve-se através de todas as faces do provete ou por capilaridade, sendo que é apenas a face inferior do provete que está em contacto com a água e a absorção ocorre por fenómenos de sucção, em sentido inverso ao da gravidade.

8.2. Procedimento de ensaio de imersão parcial

O ensaio consiste na imersão parcial dos quatro tipos de materiais em estudo (granito, calcário, tijolo e dois tipos de adobe), com o objetivo de determinar o coeficiente de capilaridade C , determinado a partir da curva da massa ou volume de água absorvida por unidade de área de absorção, em função da raiz quadrada do tempo. No ensaio, foram estudadas três amostras para cada tipo de material. Os provetes, foram previamente cortados, preparados e colocados 12 horas na estufa a 106°C , antes de serem ensaiados.

Segundo a Lei de Fick, quando um material está perante um ambiente com distintas humidades relativas, existe transporte de vapor de água dentro do material que procura uniformizar a concentração de vapor nos dois ambientes. O fluxo de humidade dá-se no sentido da maior humidade relativa para a menor humidade, isto é, da maior para a menor pressão. Pelo facto de ter mais espaço de manobra, optou-se por fazer os ensaios fora da câmara climática, com a influência dos envidraçados e dos recipientes com água (figura 45).



Figura 45 Recipientes com água, na zona de execução do ensaio

Numa segunda fase, atendendo à existência de recipientes de água e conseqüentemente uma dificuldade em obter uma precisão dos valores correspondentes aos provetes do granito,

optou-se por repetir o ensaio de absorção de água da amostra A, de granito, no interior de uma câmara climática com condições de temperatura e humidade de 20 °C e 65 % respetivamente. Nos ensaios executados, não foi tido em conta a impermeabilização das faces laterais dos provetes com parafina ou outro produto equivalente, que potenciaría apenas um fluxo unidirecional. Contudo, com a massa estabilizada, os provetes de cada um dos materiais, foram pesados e registou-se a sua massa inicial como sendo m_i . Seguidamente, com a tina nivelada, imergiu-se parcialmente os provetes ao cutelo dentro da tina com cerca de 6 a 10 mm de água sobre a base do geotêxtil, por forma a assegurar um maior fluxo inferior. O nível de água foi mantido constante durante o ensaio, através da reposição da água.

Após o repouso, o provete foi retirado da água e atendendo as diferentes características e propriedades físicas dos materiais em estudo, foi para o tempo já pré-estabelecido, registadas as medições de absorção de água em massa e altura. Após cada intervalo de tempo definido e cronometrado, a face inferior do provete, foi limpa em papel humedecido de modo a eliminar o excesso de água e a conseqüente formação de gotículas. Durante o ensaio, o nível de água na tina foi mantido constante, através da reposição de água quando necessário, tendo permitido determinar um conjunto de massas por tempo.

Cada provete foi pesado numa balança calibrada, conforme ilustram as fotos correspondentes à figura 46.



Figura 46 Fase da pesagem e medição da absorção de água

Esta tarefa cíclica de imersão parcial, retirada, secagem da superfície, pesagem e medição foi repetido nos tempos estabelecidos, até se verificar a estabilização da massa da amostra, por absorção capilar. A sequência pela qual se efetuaram as medições foi sempre respeitada, ou seja, o primeiro provete a ser pesado, foi sempre o primeiro provete nos restantes tempos estabelecidos, segundo a ordem prevista, a referir; A, B e C, retomando de seguida à água. Estas operações duraram ao todo, aproximadamente 3 minutos para os 3 provetes.

A partir dos valores (Δ_m) traça-se, para cada provete ensaiado, a curva de absorção de água que representa a quantidade de água absorvida por uma unidade de área (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo (\sqrt{t}). A absorção de água capilar é expressa pelo coeficiente de

capilaridade [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$], C, que representa a velocidade com que a água é inicialmente absorvida pelo material, ou seja, a capacidade hídrica, que o material tem de absorver a água ao nível dos poros, sem se exercer pressão.

Conforme já transmitido, o processo de absorção de água de um material pode ser facilmente distinguido por meio do traçado comum de curvas de absorção capilar.

A Norma EN 1015-18 estabelece no procedimento de ensaio, o uso de provetes de 40x40x160 mm, situação condicionante, pois nem sempre se conseguem obter amostras com essas dimensões ou a regressão linear pode acabar antes dos 90 minutos, pelo que é fundamental determinar qual será o período de tempo mais adequado para avaliar quando é que deixa de ser linear.

Desta forma, apresenta-se nos subcapítulos seguintes, a compilação dos resultados do ensaio de absorção de água para cada um dos materiais, correspondentes à fase 1, para cada um dos períodos correspondentes às seguintes metodologias:

- Metodologia 1 - O declive da reta até ao limite da primeira fase das amostras;
- Metodologia 2 - O declive da reta da linha de melhor tendência das amostras;
- Metodologia 3 - O declive de reta até aos primeiros 90 minutos das amostras;
- Metodologia 4 – Método citado pela AFNOR (1980), Sousa & Freitas (1998) e Flores – Colen;

Os resultados parciais, correspondentes ao ensaio de absorção de água, são expostos no anexo A1.

8.2.1. Materiais utilizados no Ensaio

O adobe “Aldeia Nova” foi colhido da base de fundação de um edifício devoluto, em contacto direto com o solo, enquanto que o adobe “Duarte de Lemos” foi colhido de um muro degradado, conforme já explicitado no subcapítulo 6.1.1. Relativamente aos restantes materiais com origem nacional, facilmente identificáveis na figura 47, foram fornecidos pelo Departamento de Engenharia Civil.



Figura 47 Materiais utilizados no ensaio de absorção de água; tijolo, granito, calcário e adobe

Na tabela 46, apresenta as dimensões cortadas dos provetes, sendo que os provetes de adobes foram preparados com uma maior área de contacto, motivado por uma incerteza quanto ao seu comportamento perante a água. Segundo a norma EN 15148, exige que os provetes tenham uma área mínima de contacto em água de 50 cm^2 e uma espessura que seja o total do produto a testar. A espessura dos provetes utilizada não foi a mesma espessura de amostra para os distintos materiais e apesar dos provetes de Calcário e Granito não respeitarem a superfície mínima de contacto normalizada, foram ensaiados com as dimensões previstas na tabela 46.

Tabela 46 Dimensões com os provetes das amostras cortadas

Material	Amostra	Dimensões			A (cm^2)
		b	d	h	
Tijolo	A	11	5	22,9	55
	B	11	5	22,9	55
	C	11	5	22,9	55
Calcário	A	9,4	5,1	18,1	47,94
	B	9,6	5,1	17,5	48,96
	C	9,4	5,1	18,9	47,94
Granito	A	9	4,7	14,6	42,3
	B	9	4,6	14,6	41,4
	C	9	4,6	14,6	41,4
Adobe "aldeia nova"	A	10	6,5	19,6	65
	B	10	6,5	20	65
	C	10	6,5	20,5	65
Adobe "duarte lemos"	A	10	6	26	60
	B	11	5	27,5	55
	C	9,8	5,5	25,8	53,9

Aquando a realização do ensaio de absorção de água, os provetes de adobe ficaram ligeiramente fragilizados e conseqüentemente com dimensões inferiores, contudo, atendendo à dificuldade da sua quantificação, não se considerou esta perda de massa.

Decorrente do ensaio de absorção por imersão parcial, obtiveram-se os resultados traduzidos graficamente para cada um dos materiais, e para cada uma das metodologias adotadas.

8.2.2. Resultados do ensaio de absorção de água do Tijolo

Apresenta-se a figura 48, com o faseamento do ensaio de absorção de água do tijolo.

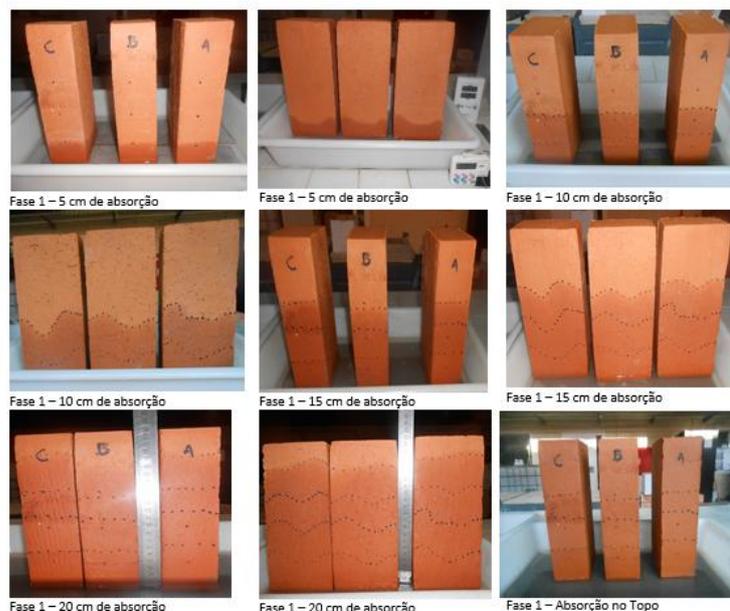
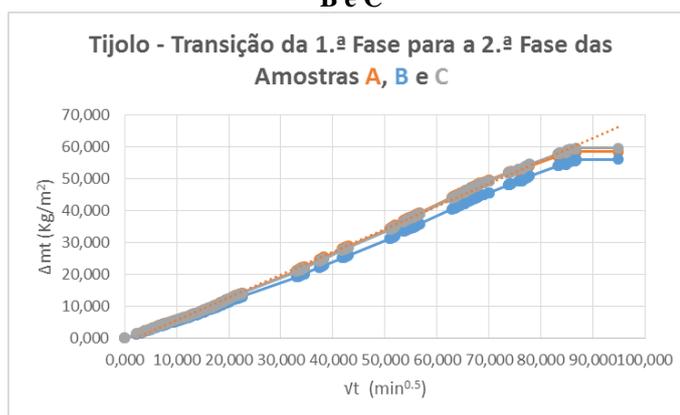


Figura 48 Imagens das amostras de tijolo, com a evolução da absorção de água

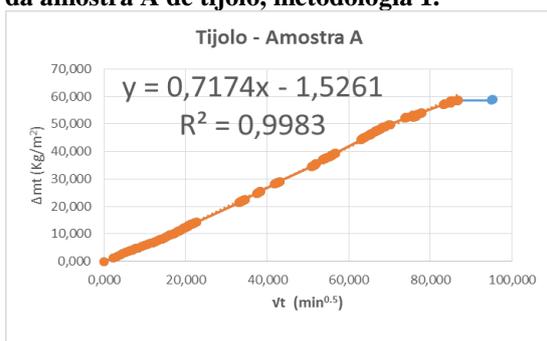
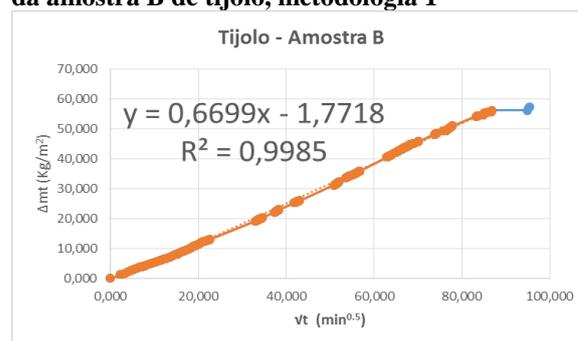
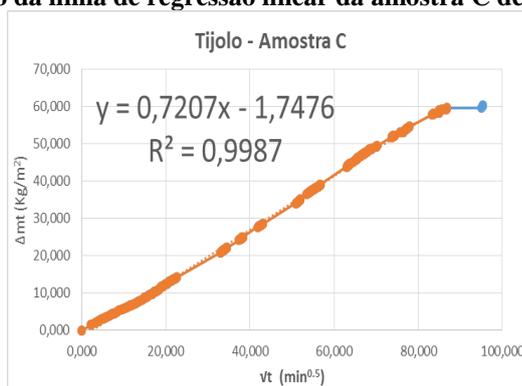
- **Metodologia 1 - Resultados do Coeficiente de Capilaridade, até ao limite da primeira fase**

O gráfico 15, traduz a transição da 1.^a fase de absorção de água, aos 7530 minutos, para a 2.^a fase de absorção.

Gráfico 15 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras de tijolo: A, B e C



Das curvas de absorção de água das amostras de tijolo, obteve-se o traçado de linha de regressão linear dos gráficos 16, 17 e 18, respetivamente.

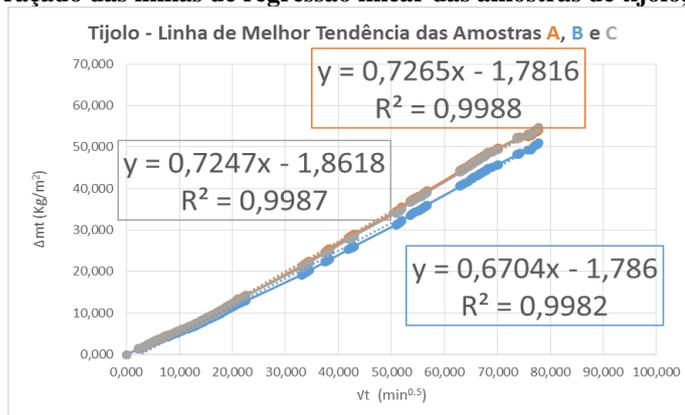
Gráfico 16 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de tijolo, metodologia 1.**Gráfico 17** Traçado da linha de regressão linear da amostra B de tijolo, metodologia 1**Gráfico 18** Traçado da linha de regressão linear da amostra C de tijolo, metodologia 1**Tabela 47** Resultados do coeficiente de capilaridade do tijolo, metodologia 1

Materiais	Tipo de amostra	Coefficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Tijolo	A	0,72	0,70	0,028	4,05
	B	0,67			
	C	0,72			

A tabela 47, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de tijolo, assim como o coeficiente de correlação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de $0,70 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$.

- **Metodologia 2 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar, selecionando a melhor linha de tendência**

Do traçado de regressão linear apresentado no gráfico 15, selecionou-se a linha de melhor tendência, obtendo-se o limite de 6060 minutos, que certamente corresponde ao momento da absorção de água no topo do tijolo, representado pelo gráfico 19.

Gráfico 19 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de tijolo, metodologia 2**Tabela 48 Resultados do coeficiente de capilaridade do tijolo, metodologia 2**

Material	Tipo de amostra	Coefficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Tijolo	A	0,73	0,71	0,032	4,51
	B	0,67			
	C	0,72			

A tabela 48, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de tijolo, assim como o coeficiente de variação e desvio padrão. Ao calcular a media dos três valores, obteve-se o valor médio do coeficiente de capilaridade de 0,71 kg/m².min^{0,5}.

- **Metodologia 3 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar para os 90 Minutos**

O gráfico 20, apresenta a linha de regressão linear, para a duração dos primeiros 90 minutos.

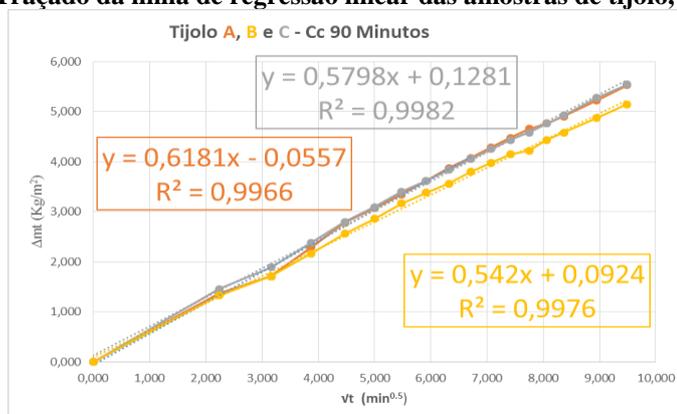
Gráfico 20 Traçado da linha de regressão linear das amostras de tijolo, metodologia 3

Tabela 49 Resultados do coeficiente de capilaridade do tijolo, metodologia 3

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Tijolo	A	0,62	0,58	0,038	6,56
	B	0,54			
	C	0,58			

Ao calcular a media dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 0,58 kg/m².min^{0,5}.

- **Resultado do valor do coeficiente de capilaridade do tijolo, em função dos diversos intervalos**

Pelos valores obtidos dos subcapítulos anteriores, as amostras de tijolo apresentam valores de coeficiente de capilaridade que variam entre 0,54 e 0,73 kg/m².min^{0,5}. Ao determinar a média aritmética dos coeficientes de capilaridade das amostras, para cada uma das distintas metodologias de aferição, obteve-se os valores de coeficiente de capilaridade que variam entre 0,58 e 0,71 kg/m².min^{0,5}.

O valor obtido, comparado com o valor apresentado pelo fabricante (0,6 kg/m².min^{0,5}) situa-se no intervalo.

8.2.3. Resultados do ensaio de absorção de água do calcário

Apresenta-se a figura 49, com o faseamento correspondente ao ensaio de absorção de água do calcário.

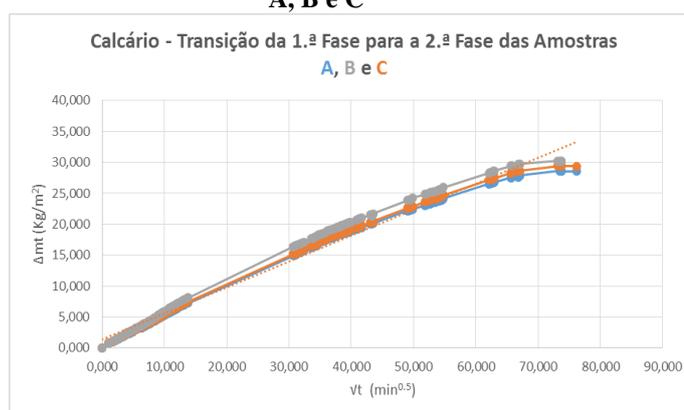


Figura 49 Imagens das amostras de calcário, com a evolução da absorção de água

- **Metodologia 1 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar adotado até ao limite da primeira fase**

Aos 4500 minutos, constata-se que se dá a transição da 1.ª fase de absorção de água para a 2.ª fase de absorção, correspondente à manifestação da saturação por absorção capilar, das amostras do calcário, conforme se pode visualizar no gráfico 21.

Gráfico 21 Curva de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras de Calcário A, B e C



Da curva de absorção de água das amostras de calcário (gráfico 21), obteve-se o traçado de linha de regressão linear nos gráficos 22, 23 e 24.

Gráfico 22 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de calcário, metodologia 1

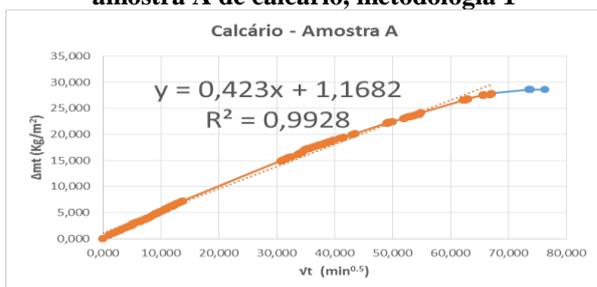


Gráfico 23 Traçado da linha de regressão linear da amostra B do calcário, metodologia 1

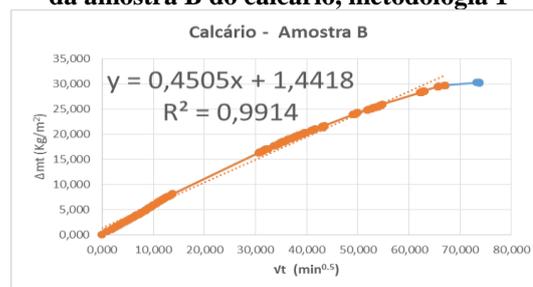
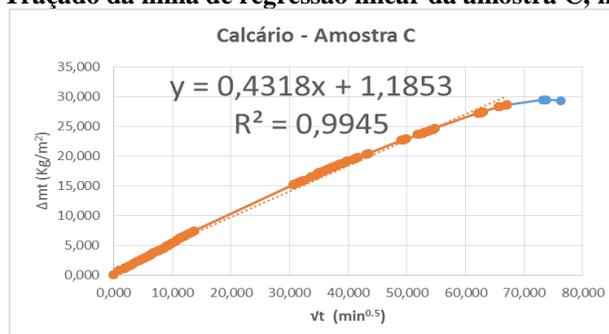


Gráfico 24 Traçado da linha de regressão linear da amostra C, metodologia 1



A tabela 50, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de calcário, assim como o coeficiente de correlação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de $0,44 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$.

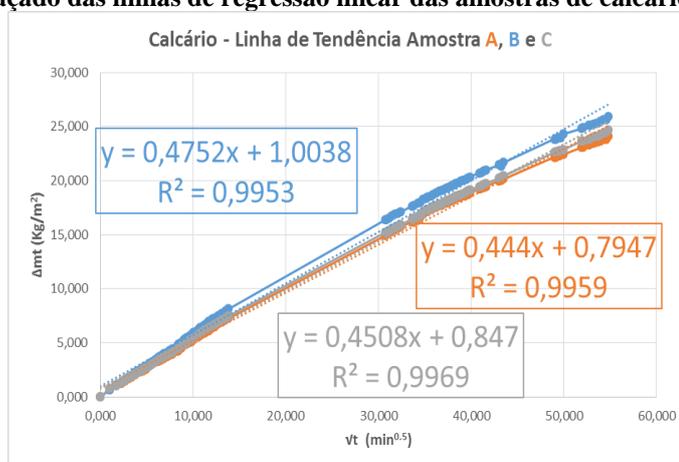
Tabela 50 Resultados do coeficiente de capilaridade do calcário, metodologia 1

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$)	Média	DP	CV (%)
Calcário	A	0,42	0,44	0,014	3,23
	B	0,45			
	C	0,43			

- **Metodologia 2 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar, selecionando a melhor linha de tendência**

A linha de melhor tendência foi identificada no limite dos 3000 minutos, que corresponde ao momento que a água surge no topo do calcário e conseqüentemente, a partir daí, as percolações de água intersticiais serão menores.

Gráfico 25 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de calcário, metodologia 2



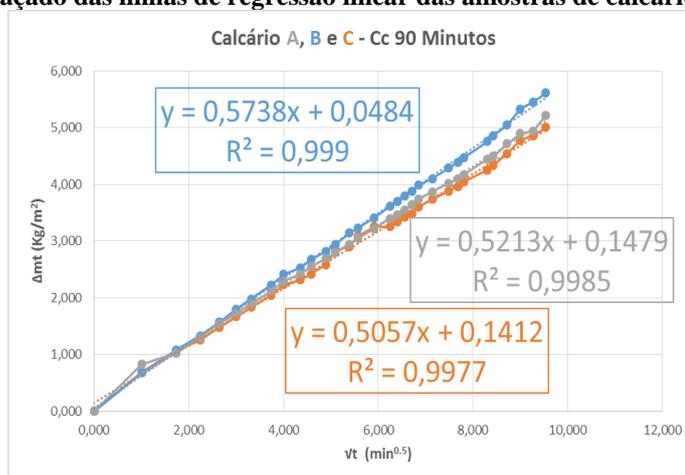
A tabela 51, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de calcário, assim como o coeficiente de variação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de $0,46 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$.

Tabela 51 Resultados do coeficiente de capilaridade do calcário, metodologia 2

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Calcário	A	0,44	0,46	0,016	3,59
	B	0,48			
	C	0,45			

- **Metodologia 3 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar para os 90 Minutos**

O gráfico 26, apresenta a linha de regressão linear do calcário, para a duração dos primeiros 90 minutos.

Gráfico 26 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de calcário, metodologia 3**Tabela 52 – Resultados do coeficiente de capilaridade do calcário, metodologia 3**

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Calcário	A	0,52	0,53	0,036	6,69
	B	0,57			
	C	0,51			

Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 0,53 kg/m².min^{0,5}.

- **Determinação do valor do coeficiente de capilaridade do calcário, em função os diversos intervalos**

Pela análise aos resultados individuais dos valores do coeficiente de capilaridade das amostras de calcário, variam entre 0,42 a 0,57 kg/m².min^{0,5}. A média aritmética dos coeficientes de

capilaridade das amostras, por cada metodologia apresentada, permite obter o coeficiente de capilaridade que varia entre 0,42 a 0,53 kg/m².min^{0.5}.

8.2.4. Resultados do ensaio de absorção de água do adobe “Aldeia Nova”

Apresenta-se a figura 50, com o faseamento do ensaio de absorção de água do adobe “Aldeia Nova”.



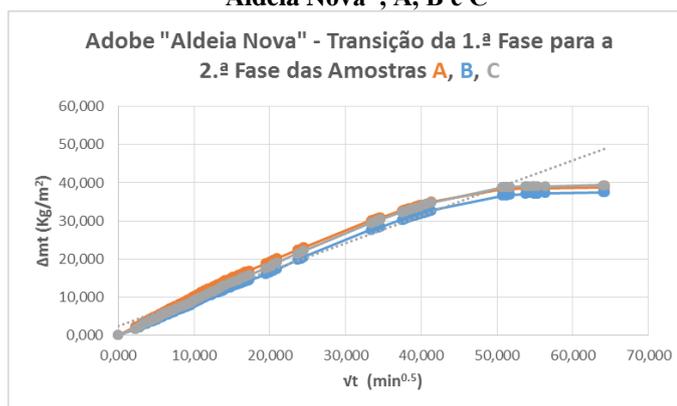
Figura 50 Imagem das amostras de adobe “aldeia nova”, com a evolução da absorção de água

No ensaio do adobe “Aldeia Nova” obtiveram-se os resultados apresentados no anexo e traduzidos graficamente, em função das seguintes metodologias adotadas.

- **Metodologia 1 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar adotado até ao limite da primeira fase**

Aos 2640 minutos, constata-se que se dá a transição do 1.º troço para o segundo troço, conforme pode ser visualizado no gráfico 27, ponto de inflexão que corresponde à transição do limite da zona de saturação capilar das amostras do adobe “Aldeia Nova”.

Gráfico 27 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo das amostras de adobe “Aldeia Nova”, A, B e C



Do primeiro troço de absorção de água das amostras de adobe representado no gráfico 23, obteve-se o traçado de linha de regressão linear os gráficos 28, 29 e 30, respetivamente.

Gráfico 28 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1

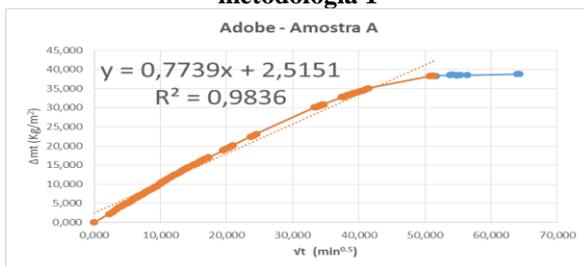


Gráfico 29 Traçado da linha de regressão linear da amostra B de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1

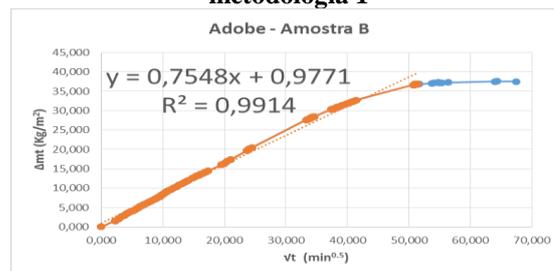
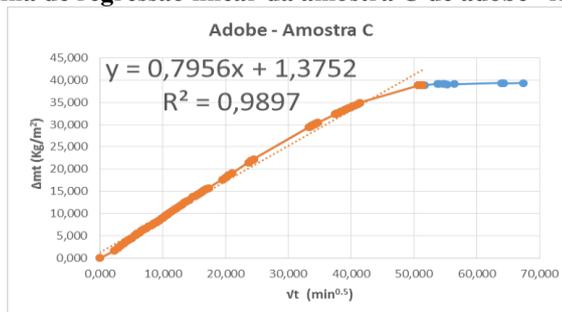


Gráfico 30 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1



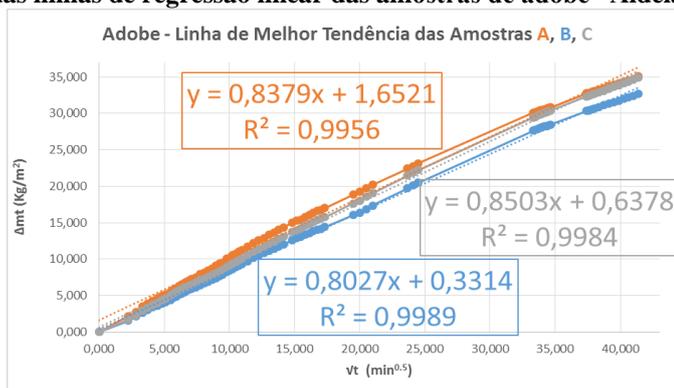
A tabela 53, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de adobe, assim como o coeficiente de variação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de $0,77 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$.

Tabela 53 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, metodologia 1

Materiais	Tipo de amostra	Coefficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Adobe "aldeia nova"	A	0,77	0,77	0,020	2,63
	B	0,75			
	C	0,80			

- **Metodologia 2 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar, selecionando a melhor linha de tendência**

A linha de melhor tendência foi identificada aos 1710 minutos, zona correspondente ao momento da absorção água no topo do adobe, conforme gráfico 31, e conseqüentemente, a partir daí, as percolações de água intersticiais serão menores.

Gráfico 31 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 2**Tabela 54 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, metodologia 2**

Materiais	Tipo de amostra	Coefficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Adobe "aldeia nova"	A	0,84	0,83	0,025	2,97
	B	0,80			
	C	0,85			

A tabela 54, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra do adobe, assim como o coeficiente de variação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 0,83 kg/m².min^{0,5}.

- **Metodologia 3 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar para os 90 Minutos**

O gráfico 32, apresenta a linha de regressão linear do adobe, para a duração dos primeiros 90 minutos.

Gráfico 32 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Aldeia Nova”, metodologia 3

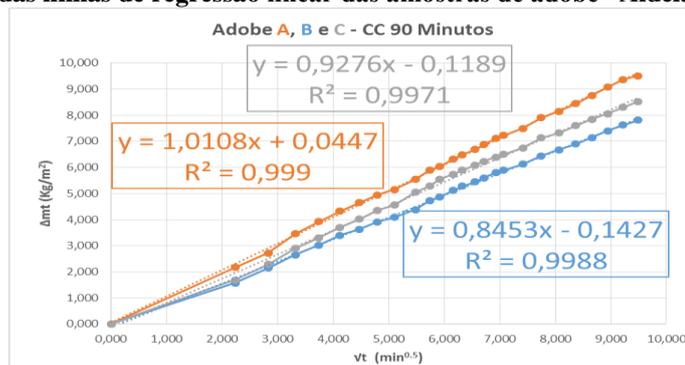


Tabela 55 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, metodologia 3

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Adobe	A	1,01			
"aldeia nova"	B	0,85	0,93	0,083	8,92
	C	0,93			

Ao calcular a media dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 0,93 kg/m².min^{0,5}.

- **Determinação do valor do coeficiente de capilaridade do adobe “Aldeia Nova”, em função dos diversos intervalos**

Pela análise aos resultados individuais dos valores do coeficiente de capilaridade das amostras de adobe, variam entre 0,75 a 1,01 kg/m².min^{0,5}. A média aritmética dos coeficientes de capilaridade das amostras, por cada metodologia apresentada, permite obter o coeficiente de capilaridade que varia entre 0,77 a 0,93 kg/m².min^{0,5}.

8.2.5. Resultados do ensaio de absorção de água do adobe “Duarte Lemos”

Apresenta-se a figura 51, com o faseamento de absorção de água, do adobe “Duarte Lemos”.

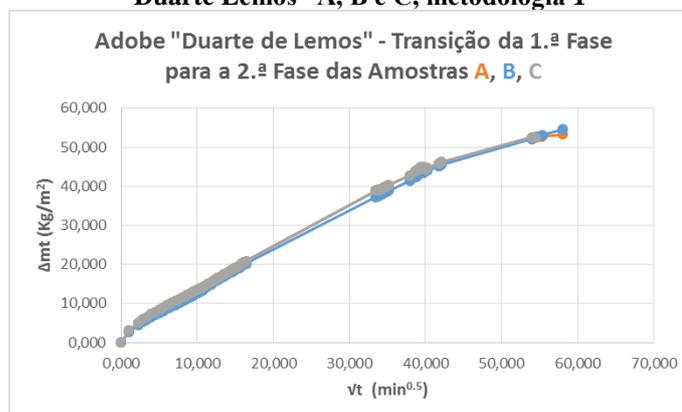


Figura 51 Imagens das amostras do adobe “Duarte Lemos”, com a evolução da absorção de água

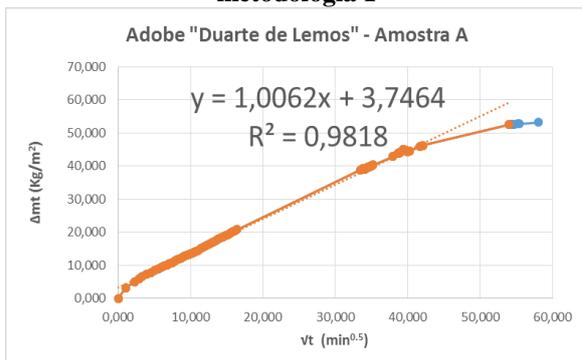
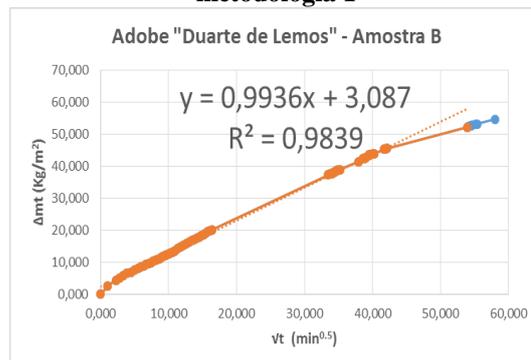
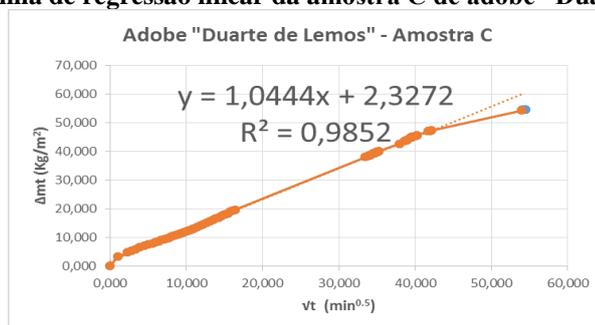
- **Metodologia 1 - Resultados do coeficiente de absorção de água até ao limite da primeira fase**

Aos 2640 minutos, constata-se que se dá a transição da 1.º fase de absorção de água para a 2.ª fase de absorção, traduzindo-se na fase de saturação capilar do adobe.

Gráfico 33 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras de adobe “Duarte Lemos” A, B e C, metodologia 1



Através das curvas de absorção de água das amostras do adobe do gráfico 33, obteve-se o traçado de linha de regressão linear dos gráficos 34, 35 e 36, respetivamente.

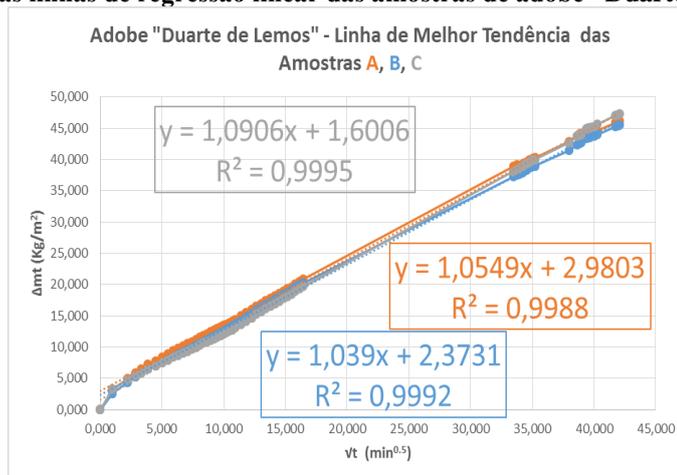
Gráfico 34 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1**Gráfico 35** Traçado da linha de regressão linear da amostra A de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1**Gráfico 36** Traçado da linha de regressão linear da amostra C de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1**Tabela 56** Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, metodologia 1

Materiais	Tipo de amostra	Coefficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Adobe "duarte de lemos"	A	1,01	1,01	0,026	2,61
	B	0,99			
	C	1,04			

A tabela 56, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de adobe, assim como o seu coeficiente de variação. Ao calcular a media dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 1,01 kg/m².min^{0,5}.

- **Metodologia 2 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar, selecionando a melhor linha de tendência**

Do traçado de regressão linear para cada uma das amostras de adobe “Duarte Lemos”, ilustrada no gráfico 29, obteve-se a linha de melhor tendência representada no gráfico 37, para o limite dos 1770 minutos.

Gráfico 37 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 2**Tabela 57 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, metodologia 2**

Material	Tipo de amostra	Coefficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Adobe "duarte de lemos"	A	1,05	1,06	0,026	2,49
	B	1,04			
	C	1,09			

A tabela 57, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra do adobe, assim como o coeficiente de correlação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 1,06 kg/m².min^{0,5}.

- **Metodologia 3 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar para os 90 Minutos**

O gráfico 38, apresenta a linha de regressão linear, para cada uma das amostras do adobe “Duarte Lemos”.

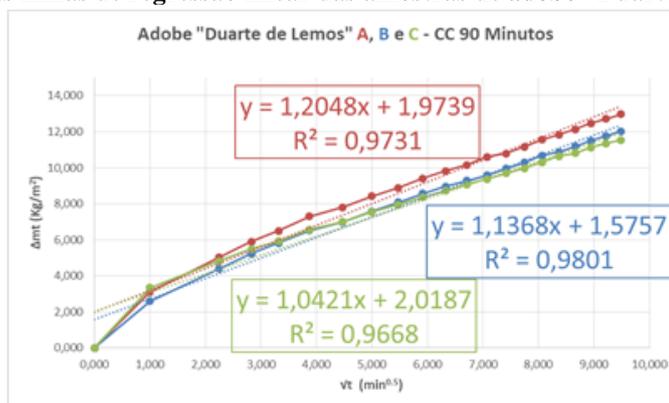
Gráfico 38 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de adobe “Duarte Lemos”, metodologia 3

Tabela 58 Resultados do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, metodologia 3

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Adobe "duarte de lemos"	A	1,20	1,13	0,082	7,24
	B	1,14			
	C	1,04			

Ao calcular a media dos três valores do adobe apresentados na tabela 58, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 1,13 kg/m².min^{0,5}.

- **Determinação do valor do coeficiente de capilaridade do adobe “Duarte Lemos”, em função dos diversos intervalos**

Pela análise aos resultados individuais dos valores do coeficiente de capilaridade das amostras de adobe, variam entre 0,99 a 1,2 kg/m².min^{0,5}. A média aritmética dos coeficientes de capilaridade das amostras, por cada metodologia apresentada, permite obter o coeficiente de capilaridade que varia entre 1,01 a 1,13 kg/m².min^{0,5}.

8.2.6. Resultados do ensaio de absorção de água do granito

Apresenta-se o registo fotográfico correspondente à absorção de água das três amostras de granito fora da câmara climática e posteriormente a amostra A, ensaiada no interior da câmara.

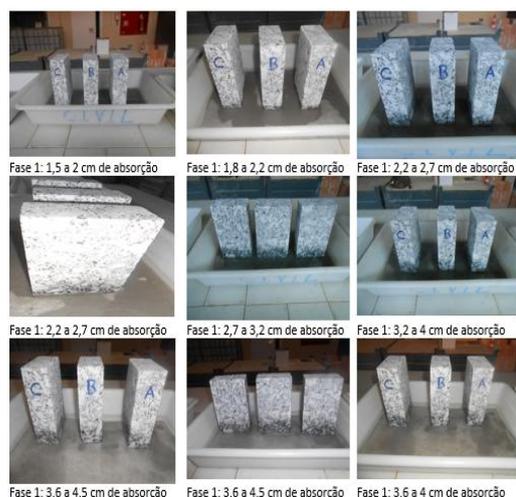


Figura 52 Fases 1 do ensaio de absorção capilar (não atingiu o topo das amostras)

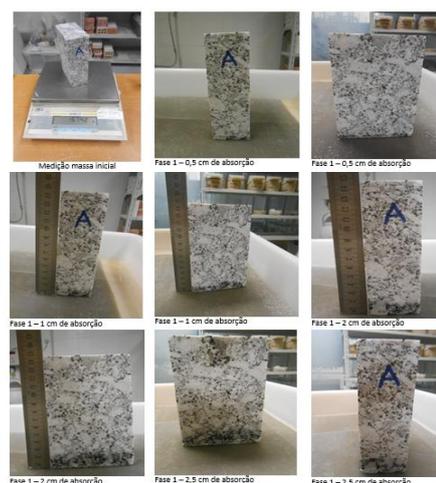


Figura 53 Fases 1 do ensaio de absorção capilar, (não atingiu o topo da amostra, no interior da câmara climática)

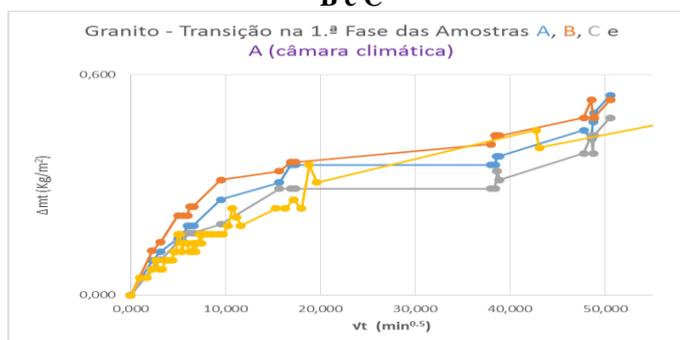
O ensaio de absorção capilar foi realizado no exterior da Câmara Climática (figura 52) e interior da câmara climática (figura 53), com a duração necessária até se alcançar o equilíbrio do teor volúmico de água, para cada um dos provetes. A absorção capilar do granito, foi manifestamente baixa. Face aos registos colhidos, observam-se vários troços lineares.

- **Metodologia 1 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar adotado até ao limite da primeira fase**

O gráfico 39, apresenta a evolução da massa, ao longo dos 2557 minutos, constatando-se que o teor de água obtido durante o ensaio não é significativa, com presença de oscilações, que podem representar as diferentes porosidades que o material possui. Numa fase inicial do ensaio de absorção, a massa dos provetes de granito têm tendência a estabilizar, independentemente do ensaio ser realizado quer no interior ou exterior da câmara climática.

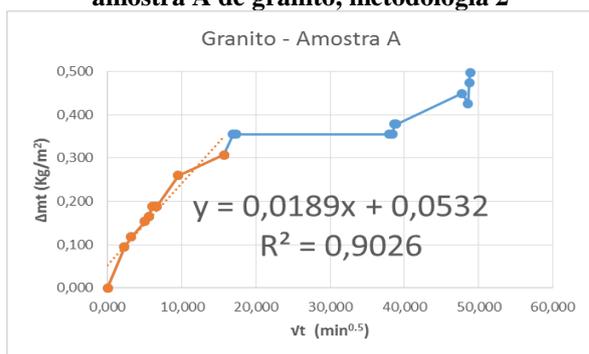
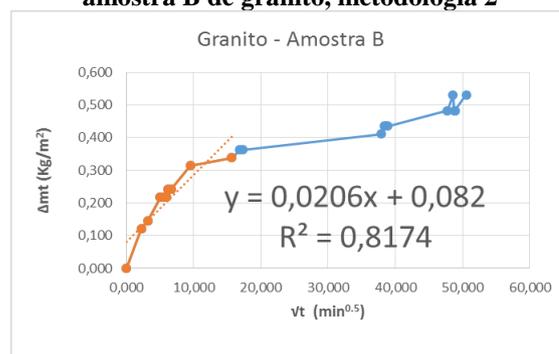
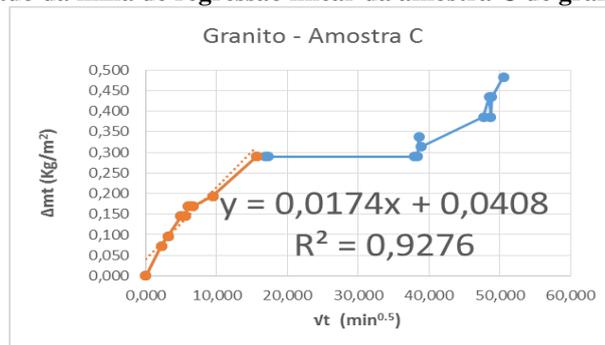
Observou-se que as amostras de granito, sofreram inúmeras oscilações por absorção de água, tendo presenciado um ciclo repetitivo de absorção de água, seguida da sua estabilização da massa, pelo que se decidiu suspender o ensaio, aquando após cerca de 2557 minutos, observou-se que a massa das amostras estabilizaram, que no interior ou exterior da câmara climática.

Gráfico 39 Curvas de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo nas amostras do granito A, B e C



- **Metodologia 2 - Resultados do Coeficiente de Absorção Capilar, selecionando a melhor linha de tendência do granito**

Verifica-se que a linha de melhor tendência, que é possível executar uma primeira aproximação, corresponde aos seguintes intervalos: 5, 10, 25, 31, 36, 39, 44, 90 e 245 minutos. Das curvas de absorção de água das amostras do granito (gráfico 39), obteve-se o traçado de linha de regressão linear os gráficos 40, 41 e 42, respetivamente.

Gráfico 40 Traçado da linha de regressão linear da amostra A de granito, metodologia 2**Gráfico 41** Traçado da linha de regressão linear da amostra B de granito, metodologia 2**Gráfico 42** Traçado da linha de regressão linear da amostra C de granito, metodologia 2

Para o interior da câmara climática, determinou-se o valor do coeficiente de capilaridade, correspondente aos seguintes intervalos: 5, 7, 11, 17, 29, 31, 35, 39, 49, 51 e 63 minutos, respectivamente (gráfico 43).

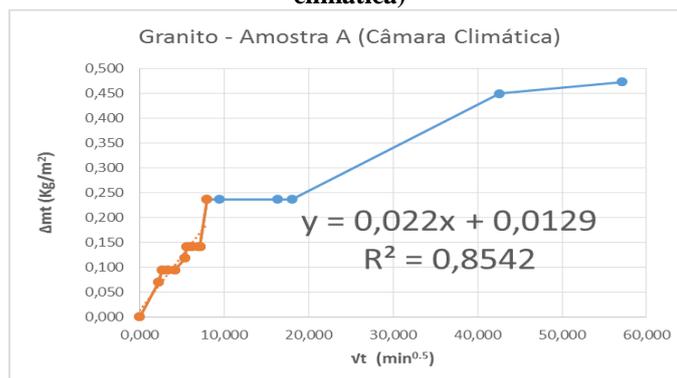
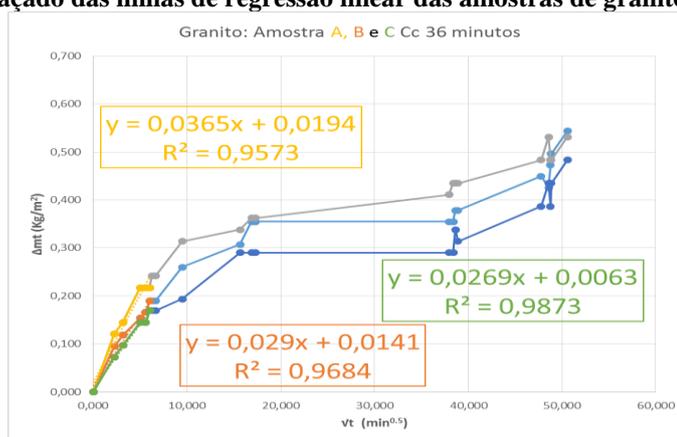
Gráfico 43 Traçado da linha de regressão linear da amostra C de granito, metodologia 2 (Câmara climática)

Tabela 59 Resultados do coeficiente de capilaridade do granito, metodologia 2

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Granito (245 minutos)	A	0,019	0,02	0,002	8,44
	B	0,021			
	C	0,017			
Granito	A (Câmara)	0,022			

A tabela 59, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de granito, assim como o seu coeficiente de correlação. Obteve-se o valor médio do coeficiente de capilaridade de 0,02 kg/m².min^{0,5}.

A linha de melhor tendência corresponde ao primeiro patamar em que se manifestou a estabilização da massa, e que corresponde aos 36 minutos (gráfico 44).

Gráfico 44 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de granito, metodologia 2

A tabela 60, apresenta o valor do coeficiente de capilaridade de cada amostra de granito, assim como o coeficiente de correlação. Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 0,03 Kg/m².min^{0,5}.

Tabela 60 Resultado do coeficiente de capilaridade do granito, metodologia 2

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Granito (36 minutos)	A	0,04	0,03	0,005	16,39
	B	0,03			
	C	0,03			

- **Metodologia 3 - Resultados para o coeficiente de Absorção capilar para os 90 Minutos.**

O gráfico 45 traduz as linhas de regressão linear das amostras de granito para os 90 minutos.

Gráfico 45 Traçado das linhas de regressão linear das amostras de granito, metodologia 3

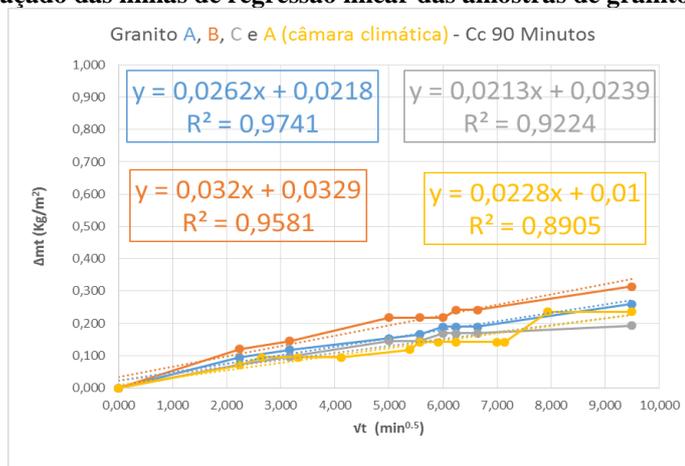


Tabela 61 Resultados do coeficiente de capilaridade do granito, metodologia 3

Materiais	Tipo de amostra	Coeficiente de capilaridade (Kg/m ² .min ^{0,5})	Média	DP	CV (%)
Granito	A	0,03	0,03	0,005	20,21
	B	0,03			
	C	0,02			
Granito	A (Câmara)	0,02			

Ao calcular a média dos três valores, obteve-se o valor do coeficiente de capilaridade de 0,03 kg/m².min^{0,5}.

- **Determinação do valor do coeficiente de capilaridade do granito, em função dos diversos intervalos**

Pela análise aos resultados individuais dos valores do coeficiente de capilaridade das amostras de granito, variam entre 0,017 a 0,037 kg/m².min^{0,5}. A média aritmética dos coeficientes de capilaridade das amostras face às metodologias estudadas, permite obter o coeficiente de capilaridade de 0,02 e 0,03 kg/m².min^{0,5}.

8.2.7. Conclusão quanto aos resultados obtidos do coeficiente de capilaridade

A tabela 62 apresenta os valores do coeficiente de capilaridade, segundo o estabelecido pela AFNOR (1980), Sousa & Freitas (1998) e Flores – Colen, cujos resultados parciais encontram-se no anexo A2.

Tabela 62 Valores de coeficiente de capilaridade, determinado de acordo com o método AFNOR

Materiais	Metodologia segundo AFNOR		
	C (kg/mm ² .h ^{0,5}): Metodologia 1	C (Kg/mm ² .h ^{0,5}): Metodologia 2	C (Kg/mm ² .h ^{0,5}): Metodologia 3
Tijolo	5,24	5,37	4,74
Calcário	3,40	3,62	4,87
Adobe "aldeia nova"	6,38	7,22	10,54
Adobe "duarte de lemos"	8,79	9,80	15,61
Granito	Não atingiu saturação	0,20	0,18

A tabela 63 apresenta o resumo dos coeficientes de variação, para os tempos considerados no método AFNOR.

Tabela 63 Coeficientes de variação pelos materiais, determinado de acordo com o método AFNOR

Materiais	Metodologia segundo AFNOR		
	Coefficiente de Variação (%) Metodologia 1	Coefficiente de Variação (%) Metodologia 2	Coefficiente de Variação (%) Metodologia 3
Tijolo	2,41	2,77	10,24
Calcário	2,44	2,76	3,53
Adobe "aldeia nova"	2,87	3,90	9,30
Adobe "duarte de lemos"	1,63	2,09	10,48
Granito	Não atingiu saturação	18,67	23,42

A tabela 64 apresenta o resumo dos coeficientes de capilaridade, para os períodos de tempos abordados nos subcapítulos anteriores.

Tabela 64 Valores dos Coeficientes de capilaridade em função das fases consideradas

Materiais	C (Kg/m ² .min ^{0,5}): Metodologia 1	C (Kg/m ² .min ^{0,5}): Metodologia 2	C (Kg/m ² .min ^{0,5}): Metodologia 3
Tijolo	0,72	0,73	0,60
Calcário	0,43	0,45	0,51
Adobe "aldeia nova"	0,77	0,83	0,93
Adobe "duarte de lemos"	1,01	1,06	1,13
Granito	Não atingiu saturação	0,02	0,03

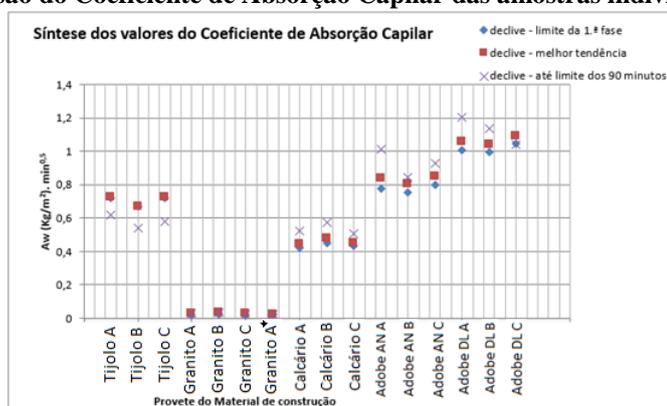
A tabela 65 apresenta o resumo dos coeficientes de variação, para os tempos considerados nas metodologias apresentadas nos subcapítulos anteriores.

Tabela 65 Coeficientes de variação em função das distintas fases adotadas

Materiais	Coeficiente de Variação (%) Metodologia 1	Coeficiente de Variação (%) Metodologia 2	Coeficiente de Variação (%) Metodologia 3
Tijolo	4,05	4,51	6,56
Calcário	3,23	3,59	6,69
Adobe "aldeia nova"	2,63	2,97	8,92
Adobe "duarte de lemos"	2,61	2,49	7,24
Granito	Não atingiu saturação	8,44	16,39

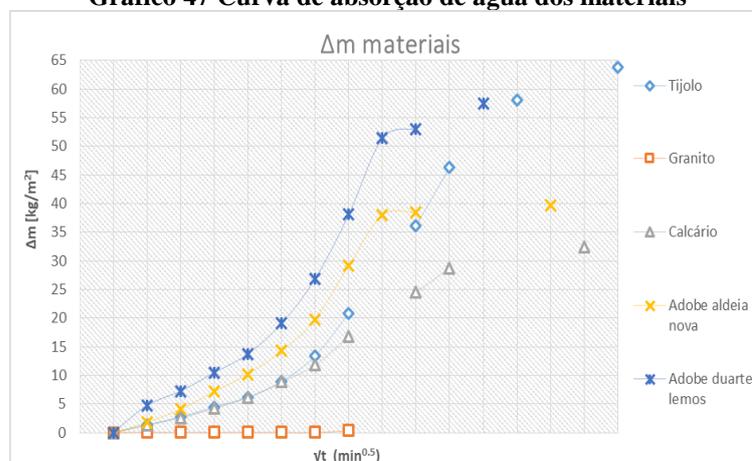
Dos valores apresentados é possível comparar os métodos utilizados, sendo de realçar que a ordem mantêm-se, ou seja; o adobe “Duarte Lemos” é o que possui sempre o maior valor do coeficiente de capilaridade, seguindo-se o adobe “Aldeia Nova”, o tijolo, o calcário e depois o granito, valor igualmente nulo. Na metodologia AFNOR, aos 90 minutos, o calcário possui maior valor de coeficiente de capilaridade em relação ao tijolo, cenário contraditório pela tabela 64, onde o calcário possui menor valor de C, em relação ao tijolo. Como valor mais razoável, entendeu-se optar pela metodologia que possui mais leituras e que assim representa melhor a evolução real da absorção de água dos materiais.

Independentemente da metodologia adotada, aos 90 minutos, o calcário e o tijolo são os materiais que revelam ser os menos capilares. O calcário possui um melhor comportamento em comparação com o tijolo, perante uma exposição prolongada por absorção de água, evidenciando uma redução do teor de água, contrariamente ao tijolo, que tende a ganhar teores de água perante a exposição prolongada, ainda assim inferior ao adobe. O granito é o material de eleição porque não se observou significativos ganhos de água, seguindo-se o calcário, que foi o material que regista, a seguir ao granito, o menor valor de coeficiente de absorção de água. Esta relação pode ser facilmente perceptível, pelo gráfico 46.

Gráfico 46 Dispersão do Coeficiente de Absorção Capilar das amostras individuais dos materiais

O gráfico 47, ilustra a evolução da absorção de água ao longo do ensaio, para os valores médios de cada material.

Gráfico 47 Curva de absorção de água dos materiais



As amostras de granito não atingiram água à superfície e constata-se que pouco tempo após o início do ensaio de absorção capilar, as massas estabilizaram não tendo conseguido mais ganho de água ao longo do ensaio, pelo que se conclui que o ensaio poderia ter sido finalizado antes dos 90 minutos, apesar de ter prosseguido, situação contrária nas restantes amostras, em que a estabilização das amostras deu-se após os 90 minutos.

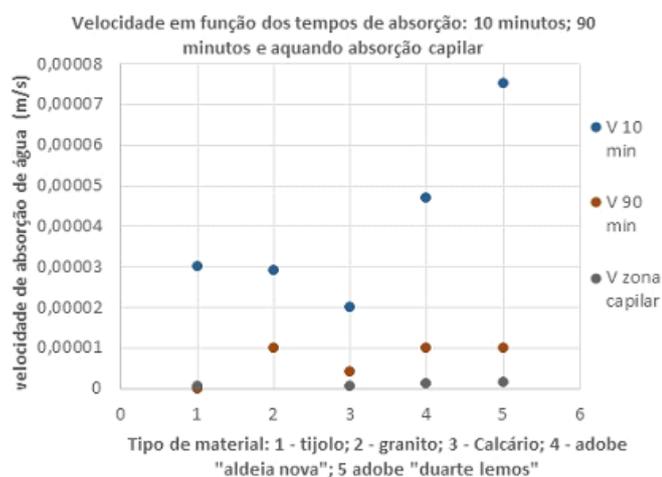
Os materiais que atingiram primeiro a quantidade de água por capilaridade foram o adobe, seguindo-se o calcário, o tijolo e por fim o granito. Contudo, de referir que o tijolo foi o material, em que a absorção de água deu-se de um modo menos repentino e mais progressivo ao longo do tempo, e o granito seguido do calcário em que a absorção de água foram menores. As amostras de adobe, que têm uma maior velocidade inicial de absorção, foram os materiais que têm um menor tempo de avanço na frente húmida. Por outro lado, o tijolo que tem uma menor velocidade de absorção, possui um maior tempo de avanço na frente húmida.

Atendendo as distintas dimensões e diferentes propriedades dos materiais, com vista a conhecer-se a ascensão máxima capilar dos provetes, o m_{cap} é obtido através da estabilização da massa por preenchimento da maioria dos poros à pressão atmosférica (exceto poros de ar), sendo que existe uma certa aproximação dos valores obtidos nas metodologias 1 e 2. Pelo contrário, aos 90 minutos para todos os materiais (exceto o granito), revela que a água continua a subir devido às forças capilares que se formam no interior dos materiais, correspondendo à ainda fase de preenchimento da maioria dos poros, sempre numa primeira fase os poros de menor dimensão. Aos 90 minutos, nenhuma amostra atingiu a fase da condensação capilar, com exceção do granito.

Após imersão dos provetes, observou-se que todos os materiais, aumentaram significativamente a massa saturada.

Pelo gráfico 46 e 47, é possível constatar aos 90 minutos de ensaio, que o tijolo é o material com menor registo de velocidade, o que revela ser um material construído por poros de menor dimensão, e resultado disso, potencia um processo de circulação de água mais demorado, comparativamente aos restantes materiais. Por outro lado, constata-se uma maior dificuldade de percolação da água, resultante da diminuição da velocidade de circulação de água ao longo do ensaio, motivado pelo preenchimento com água dos canais intersticiais. Outro facto constatado apesar de ter sido realizado o ensaio em datas distintas, deve-se à velocidade com que os poros capilares são preenchidos, nos mesmos tempos para os distintos materiais, atendendo que materiais que possuem poros capilares maiores, conseqüentemente maior será a sua velocidade de absorção do fluído no material.

Gráfico 48 Velocidade em função dos tempos de absorção de água



A velocidade de absorção de água nas camadas monomoleculares, é mais significativa, em especial no adobe, diminuindo de velocidade na fase de absorção plurimolecular, isto é aproximadamente aos 90 minutos.

Pelo gráfico 46, 47, tabela 62 e 64, constata-se que o tijolo apresenta o menor valor de C para a metodologia 3, o contrario para as restantes amostras, o que revela que os resultados finais são dependentes das propriedades de cada material, a referir; quanto à permeabilidade que indica a facilidade com que um determinado meio poroso se deixa percolar pela água, sob a ação de uma diferença de pressão. Portanto, aos 90 minutos, a estrutura porosa do tijolo encontrava-se ainda em estágio de percolação de água enquanto os restantes materiais com exceção do granito, aos 90 minutos, evidenciam os poros mais saturados o que revela que o

tijolo é um material poroso de inferior permeabilidade quando comparado com os restantes materiais, que possuem características de alta permeabilidade, apesar destes (adobe “aldeia nova” e adobe “Duarte lemos”) ainda não terem atingido aos 90 minutos água na superfície das amostras. Constata-se que o tijolo quando exposto em condição de saturação até atingir a estabilização da massa por imersão parcial, aumenta significativamente o valor do coeficiente de capilaridade, o contrário para as restantes amostras (com exceção do granito), em que na fase de estabilização da massa, têm tendência para reduzir o correspondente valor do coeficiente de capilaridade.

Pela análise dos materiais quanto à sua aplicabilidade como revestimentos exteriores, constata-se que o granito tem potencial para uso como revestimento, sem necessidade de ser tratado através de produtos impermeáveis, pois está classificado segundo a EN 1015-18, como material de revestimento para categoria W_2 , sendo a melhor classe de material estudado, uma vez que possui o $C \leq 0,02 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$.

Relativamente aos restantes materiais, todos ultrapassam largamente a categoria de classificação, designada por W_1 , cujo valor de C está limitado até $0,4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$. Assim, os restantes materiais pertencem à classe W_0 , uma classe de materiais sem especificação, em que não oferece quaisquer garantias nem assegura satisfatoriamente as exigências padronizadas na EN 1015-18. Assim, para que os materiais possam ser utilizados num paramento, é fundamental que os revestimentos de reforço a utilizar (argamassas), cumpram os critérios definidos quer através de revestimentos à base de impermeabilizantes ou argamassas. A referir, no caso de argamassas de renovação, tipo R, é bem mais exigente, pois segundo a norma EN 998-1, argamassas de renovação exigem o valor de C igual ou inferior a $0,3 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$, após 24 horas.

8.3. Imersão total

8.3.1. Procedimento de ensaio

Este ensaio, caracteriza-se por quatro períodos distintas, nomeadamente a primeira correspondente à saturação por absorção capilar (abordado no subcapítulo anterior), a segunda fase por levar o provete à saturação por imersão total (pressão), numa terceira fase o provete é seco em estufa e numa quarta fase os provetes são depositados na câmara climática e medidas as massas, aquando atingidos a estabilização.

Para aferição da porosidade aparente ou aberta e da massa volúmica aparente, deve ser após saturação por absorção capilar dos provetes, saturados por meio de um processo de imersão total, sob pressão, assegurado o nível de água superior em relação à face superior do provete, conforme figura 54.



Figura 54 Imersão dos provetes, sob pressão, por um período aproximado de 48 horas

Deixaram-se ficar os provetes imersos na água por um período de tempo aproximado de 48 horas. Posteriormente, quando em duas pesagens consecutivas a diferença da massa é igual ou inferior a 0,5 %, o provete atingiu o equilíbrio, encontrando-se saturado por pressão. Esta massa designa-se por m_{sat} .



Figura 55 Pesagem hidrostática dos provetes por imersão, posterior pesagem da massa saturada e pormenor dos provetes a secar na estufa

Com a finalidade de comparar os resultados nos dois tipos de medição (por imersão parcial e imersão total), procedeu-se à medição das massas correspondentes, tendo sido descontadas o peso correspondente ao suporte. O valor obtido correspondente à massa em imersão por pesagem hidrostática, designa-se por M_2 . Seguidamente, extrai-se o provete da imersão e limpam-se as superfícies do provete com recurso a papel absorvente humificado, eliminando o excesso de água, designando-se por M_3 a massa saturada. Após a necessária identificação da massa, M_3 e M_2 , seguiu-se a terceira fase do ensaio, nomeadamente a colocação dos provetes na estufa, a secar a uma temperatura de 105 ° C, por um período aproximado de 12 horas. Depois seguiu-se a quarta fase, em que os provetes foram pesados na câmara climática, já com a massa estabilizada, designada por M_1 e corresponde à massa do provete seco.



Figura 56 Pesagem dos provetes com massa estabilizada (m_0), no interior da câmara climática

Os resultados obtidos durante os ensaios, encontram-se compilados na tabela 66.

Tabela 66 Características dos materiais de construção ensaiados

Material	Amostra	Area (m ²)	m _{10 min}	m _{90 min}	m _{cap}	m _{imerso}	m _{sat}	m _{seco}	Volume
			M ₁₀ (g)	M ₉₀ (g)	Mi(g)	M2 (g)	M3 (g)	M1 (g)	V (m ³)
Tijolo	Tijolo A	0,55	3026,00	3047,00	3342,70	1932,80	3359,20	3019,60	0,0013
	Tijolo B	0,55	3013,60	3032,50	3312,70	2062,50	3358,60	2999,10	0,0013
	tijolo C	0,55	3037,00	3057,10	3354,80	2062,70	3386,70	3022,10	0,0013
Calcário	Calcário A	0,005	1931,00	1946,60	2056,30	1195,80	2086,90	1919,30	0,0009
	Calcário B	0,005	1966,00	1985,30	2103,40	1211,20	2121,20	1954,90	0,0009
	Calcário C	0,004	1673,00	1687,00	1780,90	1041,50	1811,50	1663,30	0,0009
Adobe Aldeia Nova	Adobe ANA	0,01	2553,00	2592,40	2779,70	1473,90	2794,80	2498,20	0,0013
	Adobe ANB	0,01	2556,00	2593,00	2796,00	1478,50	2812,00	2511,90	0,0013
	Adobe ANC	0,01	2748,00	2787,80	3000,10	1633,90	3018,60	2699,20	0,0013
Adobe Duarte de Lemos	Adobe DLA	0,01	2750,00	2789,90	3018,00	1881,60	3038,90	2660,10	0,0016
	Adobe DLB	0,01	2935,00	2973,10	3206,05	2118,90	3261,40	2858,30	0,0017
	Adobe DLC	0,01	2409,00	2439,40	2661,00	1617,80	2691,20	2349,20	0,0014
Granito	Granito A	0,004	1574,50	1575,10	1575,30	986,10	1580,20	1574,00	0,0006
	Granito B	0,004	1687,30	1688,00	1688,10	1058,40	1694,00	1687,00	0,0006
	Granito C	0,004	1648,70	1649,10	1649,50	1033,90	1655,50	1648,50	0,0006

8.3.2. Determinação da Porosidade e da massa volúmica aparente

Para determinação da massa volúmica aparente (M_{ap}) e da porosidade aparente (P_{ap}), cujos resultados constam na tabela 66, foram determinadas segundo as equações 1.8 e 1.9, respetivamente.

$$M_{ap} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{M1}{M3 - M2} \times 1000 \quad (1.8)$$

$$P_{ap} (\%) = \frac{M3 - M1}{M3 - M2} \times 100 \quad (1.9)$$

onde:

- M_1 – Massa do provete seco (g);
- M_2 – Massa do provete em imersão (g);

- M_3 – Massa do provete saturado (g);

A tabela 67, apresenta os resultados das equações 1.8 e 1.9.

Tabela 67 Resultados das densidades e porosidade aparente dos materiais ensaiados

Material	Densidade inicial (Kg/m ³)	Média M_{ap} (Kg/m ³)	Densidade final (Kg/m ³)	Média V_v 10 min (%)	Média V_v 90 min (%)	Média V_{vcap} (%)	Média Pap (%)
Tijolo	2392,70	2,24	2674,21	0,39	1,05	9,68	26,36
Calcário	2105,05	2,15	2293,36	0,58	1,45	6,78	18,78
Adobe Aldeia Nova	1976,74	1,91	2211,14	1,88	3,31	10,11	22,68
Adobe Duarte de Lemos	1705,02	2,33	1947,85	2,79	4,07	11,47	33,29
Granito	2687,99	2,65	2700,06	0,02	0,06	0,07	1,09

Pela tabela 67, verifica-se que numa fase inicial, o granito, o tijolo e o calcário possui menor valor percentual de vazios, observando-se um aumento da porosidade ao longo do ensaio de absorção de água. Sendo que através do ensaio hidrostático, foi possível constatar a porosidade aparente referente a cada um dos materiais, que segue a seguinte ordem decrescente; o adobe “Duarte Lemos” com o valor de 33,29 %, seguindo-se o tijolo com 26,36 %, depois o adobe “Aldeia Nova” com 22,68 %, depois o calcário com 18,78 % e por último o granito com cerca de 1,09 %.

Constata-se que o material que ganhou mais peso por imersão, foi pela seguinte ordem crescente; o granito com ganho de 12,07 Kg/m³, o calcário com ganho de 188,31 Kg/m³, o adobe “Aldeia Nova” com ganho de 234,40 Kg/m³, o adobe “Duarte Lemos” com ganho de 242,83 Kg/m³ e o tijolo com o maior ganho verificado em 281,51 Kg/m³.

Por comparação dos coeficientes de capilaridade dos materiais, determinados através da metodologia 1 ou 2, o valor assintótico de absorção de água dos materiais por capilaridade aumenta com o aumento da porosidade.

Aquando o ensaio de absorção de água na fase de condensação capilar, o adobe e o calcário, têm uma tendência para uma ligeira redução do valor do coeficiente de capilaridade com o

aumento da porosidade, situação contrário ao tijolo, em que na fase de condensação capilar, o valor de C aumenta com o aumento da porosidade.

8.3.3. Determinação do Teor de Humidade e Percentagem de Absorção de Água

A determinação do teor de humidade e da percentagem do teor de humidade, determina-se segundo as condições ambientais de exposição do provete, nomeadamente:

A determinação do teor volúmico de saturação capilar, nas condições de pressão atmosférica, W_{cap} , em kg/m^3 , dos mesmos materiais apresentados no subcapítulo anterior, calcula-se segundo a equação 1.10.

$$W_{cap} \text{ (atm)} = \frac{M_i - M_1}{V} \quad (1.10)$$

- Sendo V o volume da amostra em m^3
- M_i a massa em kg correspondente à massa correspondente ao fim da absorção do troço da 1.^a fase, à pressão atmosférica
- M_1 a massa seca
- M_3 a massa saturada por imersão

Encontrados os valores de M_3 (kg) e M_1 (kg), determinou-se W_{sat} , com unidades em kg/m^3 para cada provete, calcula-se segundo a equação 1.11.

$$W_{sat} \text{ (imersão)} = \frac{M_3 - M_1}{V} \quad (1.11)$$

A determinação do teor de humidade de saturação capilar à pressão atmosférica ou, nas condições de imersão total, calcula-se segundo as equações 1.12 ou 1.13, respetivamente:

Para o provete por capilaridade à imersão parcial, à pressão atmosférica:

$$\% W_{cap} \text{ (pressão atm)} = \frac{M_i - M_1}{M_1} \times 100 \quad (1.12)$$

Para o provete imerso sob pressão (em imersão total):

$$\% \text{ Wsat (imersão)} = \frac{M3 - M1}{M1} \times 100 \quad (1.13)$$

A tabela 68, apresenta os resultados das equações 1.10, 1.11, 1.12 e 1.13, respetivamente.

Tabela 68 Resultados dos valores de teor de humidade de saturação por imersão parcial ou imersão total

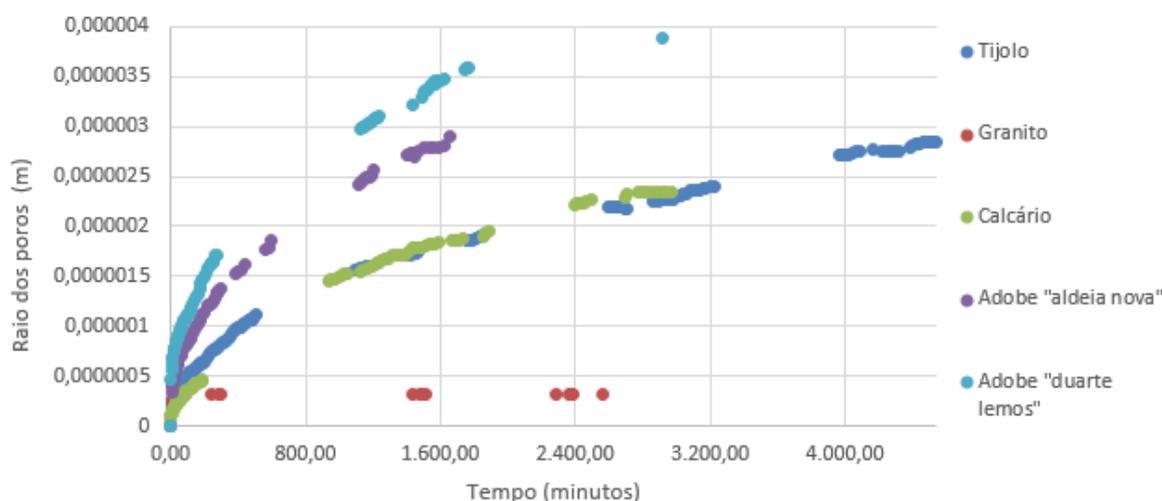
Material	Amostra	% Teor de humidade por absorção							Teor volúmico de humidade				
		% W ₁₀	Média % W ₁₀ min	% W ₉₀	Média % W ₉₀ min	% W _{cap}	Média % W _{cap}	% W _{sat}	Média % W _{sat}	W _{cap} (Kg/m ³)	Média W _{cap} (Kg/m ³)	W _{sat} (Kg/m ³)	Média W _{sat} (Kg/m ³)
Tijolo	Tijolo A	0,21		0,91		10,70		11,25		256,53		269,63	
	Tijolo B	0,48	0,40	1,11	1,06	10,46	10,72	11,99	11,77	248,99	256,56	285,43	281,51
	tijolo C	0,49		1,16		11,01		12,06		264,15		289,48	
Calcário	Calcário A	0,61		1,42		7,14		8,73		157,89		193,15	
	Calcário B	0,57	0,59	1,56	1,47	7,60	7,27	8,51	8,72	173,32	153,67	194,09	183,60
	Calcário C	0,58		1,42		7,07		8,91		129,79		163,56	
Adobe Aldeia Nova	Adobe ANA	2,19		3,77		11,27		11,87		222,09		234,00	
	Adobe ANB	1,76	1,92	3,23	3,43	11,31	11,24	11,95	11,88	218,54	222,15	230,85	234,85
	Adobe ANC	1,81		3,28		11,15		11,83		225,82		239,70	
Adobe Duarte de Lemos	Adobe DLA	3,38		4,88		13,45		14,24		229,42		242,82	
	Adobe DLB	2,68	2,87	4,02	4,25	12,17	12,96	14,10	14,30	209,02	220,89	242,28	243,68
	Adobe DLC	2,55		3,84		13,27		14,56		224,22		245,93	
Granito	Granito A	0,03		0,07		0,08		0,39		2,10		10,04	
	Granito B	0,02	0,02	0,06	0,06	0,07	0,07	0,41	0,41	1,82	1,86	11,58	11,07
	Granito C	0,01		0,04		0,06		0,42		1,65		11,58	

A tabela 68, expõe os teores de humidade de saturação para as condições de exposição em imersão parcial e imersão total. Para uma análise mais detalhada foi determinado a percentagem de humidade por absorção de água das amostras nos dois ensaios. Consta-se que aquando o ensaio de absorção capilar, as amostras com maior ganho percentual de absorção foram pela seguinte ordem decrescente; o adobe “Duarte Lemos” com 12,96 %, depois o adobe “Aldeia Nova” com 11,24 %, seguindo-se o tijolo com 10,72 %, o calcário com 7,27 % e por fim o granito com apenas 0,07 %. Após o ensaio de absorção de água por imersão total, as amostras tendem a ganhar mais humidade, embora mantenham a ordem.

8.3.4. Determinação do raio dos poros para cada material

O gráfico 49, apresenta a distribuição dos poros por tamanho, ao longo do ensaio, para cada tipo de material.

Os resultados parciais, encontram-se no anexo A3 e foram determinados de acordo com a equação 1.7, apresentado no capítulo 7.

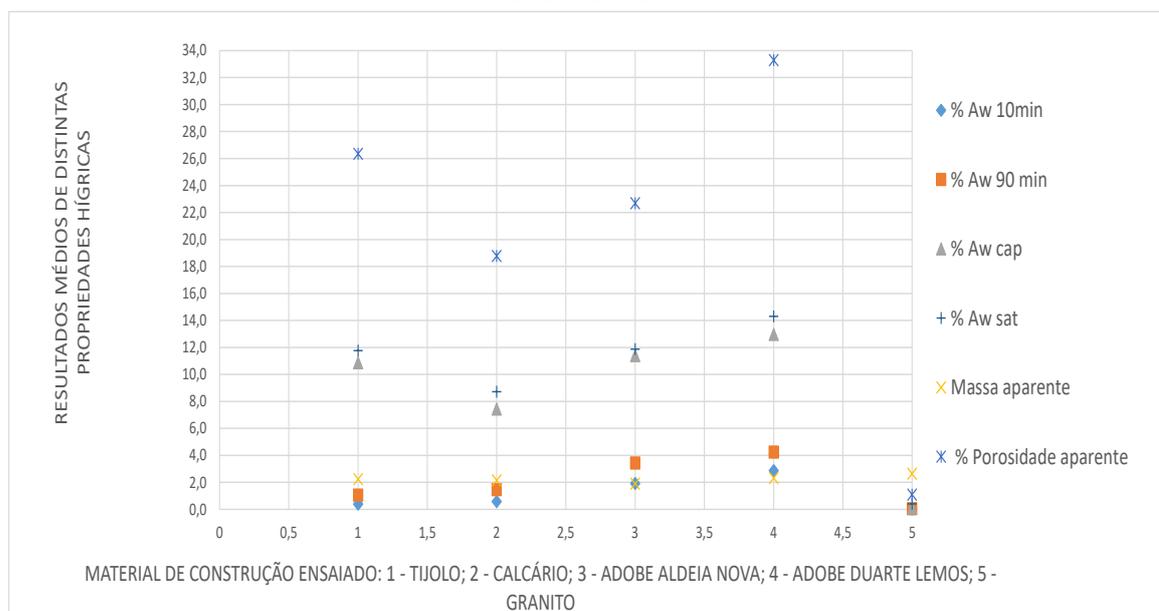
Gráfico 49 Distribuição dos poros capilares de cada material, ao longo do ensaio de absorção de água

O gráfico 49, revela que por comparação com as restantes amostras, a água preenche mais rapidamente os materiais constituídos por poros de maior dimensão e só depois, os de menor dimensão. Da análise do gráfico, observa-se que o calcário e o tijolo possuem uma distribuição de poros muito semelhante, divergindo numa fase inicial em que o calcário possui poros de menores dimensões e numa fase final, em que o calcário termina com o poro máximo, com raio de 2,5 μm , aproximadamente. Por outro lado, o adobe “Duarte Lemos” é o material com maior variedade e tamanho dos poros, divergindo ligeiramente do adobe “Aldeia Nova”. De todos os materiais, o granito possui um único tamanho de poro e com o menor tamanho.

O gráfico 49, permite comprovar o que já tinha sido transmitido, quanto ao facto de o aumento do tamanho dos poros potenciar maior velocidade de absorção do fluído no material e menor tempo de absorção capilar.

8.3.5. Conclusão quanto aos resultados obtidos após imersão total

O gráfico 50 apresenta resumidamente, os resultados médios das propriedades hígricas dos materiais.

Gráfico 50 Síntese dos resultados médios das propriedades hígricas dos materiais de construção ensaiados, no laboratório

O processo cíclico de absorção de água seguido de processo de secagem, de forma repetitiva, potencia o envelhecimento e a degradação dos materiais de construção.

Os materiais com maior valor de porosidade (adobe, calcário e tijolo), embora com distintos valores de coeficiente de capilaridade, são os que obtêm maior percentagem de absorção de água.

Contudo, nem sempre os canais intersticiais estão facilmente interligados, ao nível do esqueleto do material, pelo que foi avaliada a sua porosidade aparente, tendo obtido para o tijolo, o segundo maior valor de porosidade aparente com 26,36 %, embora com o terceiro maior valor do coeficiente de capilaridade.

Ainda, ao analisar do ponto de vista do tamanho do poro e suas interligações do esqueleto, apercebe-se que o granito não possui características de possuir porosidade aberta, sendo, portanto, um material com porosidade fechada e com menor valor de coeficiente de capilaridade, contrariamente aos restantes materiais.

Tabela 69 Síntese dos Resultados Obtidos do Ensaio de Absorção de Água

Material	Amostra	Area (m ²)	m _{10 min}	m _{90 min}	m _{cap}	m _{imerso}	m _{sat}	m _{seco}	Material no estado inicial (Kg/m ³)	% Teor de humidade por absorção								Massa Volumica aparente		Volume	Teor volúmico de humidade				Densidade após imersão	Porosidade Aparente		
			M ₁₀ (g)	M ₉₀ (g)	Mi(g)	M2 (g)	M3 (g)	M1 (g)		% W ₁₀	Média % W _{10 min}	% W ₉₀	Média % W _{90 min}	% W _{cap}	Média % W _{cap}	% W _{sat}	Média % W _{sat}	M _{ap} (Kg/m3)	Média M _{ap} (Kg/m3)		W _{cap} (Kg/m3)	Média W _{cap} (Kg/m3)	W _{sat} (Kg/m3)	Média W _{sat} (Kg/m3)	DR (Kg/m3)	Média Pap (%)		
			Tijolo	Tijolo A	0,55	3026,00	3047,00	3342,70		1932,80	3359,20	3019,60		0,21		0,91		10,70			11,25		2,12		256,53		269,63	
	Tijolo B	0,55	3013,60	3032,50	3312,70	2062,50	3358,60	2999,10	2392,70	0,48	0,40	1,11	1,06	10,46	10,72	11,99	11,77	2,31	2,24	0,0013	248,99	256,56	285,43	281,51	2674,21	26,36		
	tijolo C	0,55	3037,00	3057,10	3354,80	2062,70	3386,70	3022,10		0,49		1,16		11,01		12,06		2,28			264,15		289,48					
Calcário	Calcário A	0,005	1931,00	1946,60	2056,30	1195,80	2086,90	1919,30		0,61		1,42		7,14		8,73		2,15			157,89		193,15					
	Calcário B	0,005	1966,00	1985,30	2103,40	1211,20	2121,20	1954,90	2105,05	0,57	0,59	1,56	1,47	7,60	7,27	8,51	8,72	2,15	2,15	0,0009	173,32	153,67	194,09	183,60	2293,36	18,78		
	Calcário C	0,004	1673,00	1687,00	1780,90	1041,50	1811,50	1663,30		0,58		1,42		7,07		8,91		2,16			129,79		163,56					
Adobe Aldeia Nova	Adobe ANA	0,01	2553,00	2592,40	2779,70	1473,90	2794,80	2498,20		2,19		3,77		11,27		11,87		1,89			222,09		234,00					
	Adobe ANB	0,01	2556,00	2593,00	2796,00	1478,50	2812,00	2511,90	1976,74	1,76	1,92	3,23	3,43	11,31	11,24	11,95	11,88	1,88	1,91	0,0013	218,54	222,15	230,85	234,85	2211,14	22,68		
	Adobe ANC	0,01	2748,00	2787,80	3000,10	1633,90	3018,60	2699,20		1,81		3,28		11,15		11,83		1,95			225,82		239,70					
Adobe Duarte de Lemos	Adobe DLA	0,01	2750,00	2789,90	3018,00	1881,60	3038,90	2660,10		3,38		4,88		13,45		14,24		2,30			229,42		242,82					
	Adobe DLB	0,01	2935,00	2973,10	3206,05	2118,90	3261,40	2858,30	1705,02	2,68	2,87	4,02	4,25	12,17	12,96	14,10	14,30	2,50	2,33	0,0015	209,02	220,89	242,28	243,68	1947,85	33,29		
	Adobe DLC	0,01	2409,00	2439,40	2661,00	1617,80	2691,20	2349,20		2,55		3,84		13,27		14,56		2,19			224,22		245,93					
Granito	Granito A	0,004	1574,50	1575,10	1575,30	986,10	1580,20	1574,00		0,03		0,07		0,08		0,39		2,65			2,10		10,04					
	Granito B	0,004	1687,30	1688,00	1688,10	1058,40	1694,00	1687,00	2687,99	0,02	0,02	0,06	0,06	0,07	0,07	0,41	0,41	2,65	2,65	0,0006	1,82	1,86	11,58	11,07	2700,06	1,09		
	Granito C	0,004	1648,70	1649,10	1649,50	1033,90	1655,50	1648,50		0,01		0,04		0,06		0,42		2,65			1,65		11,58					
Granito (Interior Câmara Climática)	Granito A	0,00423	1574,5	1574,9	1575,20	986,30	1580,20	1573,50		0,06	0,06	0,09	0,09	0,11	0,17	0,43	0,43	2,65	2,65		2,75	4,37	10,85	10,85	2558,70	1,13		

9. ENSAIOS COM EQUIPAMENTOS NÃO DESTRUTIVOS

9.1. Ensaio com o Humidímetro

O humidímetro destina-se a medir a humidade dos revestimentos superficiais dos materiais de construção, sendo um instrumento portátil bastante simples utilizado para avaliar o teor de água das paredes, através de dois eléctrodos em forma de agulhas ou de sondas de profundidade a introduzir nos elementos a ensaiar.

Esta via, consiste na variação da resistência eléctrica dos materiais em função do respetivo teor de água, sendo utilizada em termos comparativos e não absolutos, e pode ser uma ferramenta bastante útil na deteção de zonas com elevado teor de humidade e na determinação das causas desse fenómeno. O seu campo de aplicação é diverso, podendo ser utilizado em materiais como a madeira, betonilha, betão, gesso, argamassa, cal, tijolo, etc.

As medições foram obtidas com o aparelho “POWERFIX. Modelo HG01701C versão 09/2016 do fabricante Owim GMBG & o, KG”, sendo que as leituras próximas do zero, indica que o material está seco, ou no máximo da escala, indica que o material está muito húmido, sendo que aquando a presença de sais pode alterar os resultados.

O dispositivo classifica consoante o tipo de material, em relação ao seu peso, o grau de humidade em valores percentuais. Para utilizar o equipamento, foi necessário seleccionar o dígito mais apropriado segundo as prescrições do fabricante, pelo que se apresenta as possibilidades adotadas conforme consta a tabela 70

Tabela 70 Informações relevantes constantes no manual do utilizador, pelo fabricante

Dígito	Material	Amplitude de medição	Valor de referência para humidade, ilustrado em percentagem, em relação ao peso		
			Seco	Valor limite	Húmido Demais
1	Faia, cerejeira, lariço, bétula, árvore de nozes	6 - 44 %	< 12 %	12 - 15 %	> 15 %
1	Carvalho, pinheiro, bordo, freixo, douglásia	6 - 44 %	< 15 %	15 - 20 %	>20 %
2	Betonilha, betão, gesso	1,7 - 7,4 %	< 2 %	2 - 4 %	>4 %
3	Cimento de anidita	0,0 - 4,1 %	< 0,5 %	0,5 - 1 %	>1 %
4	Argamassa de cimento	0,8 - 5,1 %	< 2 %	2 - 5 %	>5 %
5	Manta de cal	0,4 - 3,7 %	< 2 %	2 - 3,5 %	>3,5 %
6	Tijolo	0,0 - 8,5 %	< 1 %	1 - 3 %	>3 %

Tabela 71 Dígitos adotado no dispositivo de leitura, aquando o ensaio

Material	Dígito adotado
Tijolo	6
Granito	3
Calcário	2; 3
Adobe “Aldeia Nova”	2; 4
Adobe “Duarte de Lemos”	2; 4

9.1.1. Vantagens e desvantagens na utilização do humidímetro

Apresentam-se as vantagens e desvantagens no uso deste equipamento, segundo tabela 72.

Tabela 72 Vantagens e desvantagens da utilização do Humidímetro

Vantagens	Desvantagens
Baixo preço de aquisição	Limitação aquando a sua utilização, nomeadamente para ambientes com temperatura compreendida entre 0 ° C a 40 . ° C e uma humidade atmosférica máxima relativa de 80 %
Portátil e Ergonómico: a sua dimensão e leveza, permitem facilmente recolher leituras rápidas e práticas	As medições abaixo do espectro de medição mostram "0,0 %" ou "Lo" no visualizador em contrapartida, as medições acima do espectro de medição mostram "Hi" no visualizador.
Após direccionar as agulhas na superfície do material em análise, obtêm-se facilmente o teor de humidade do correspondente material. Permite fazer uma avaliação quanto à aptidão de superfícies para aplicação de revestimentos em cumprimento das instruções de aplicação dos fabricantes dos revestimentos (ex.º tintas).	Existe uma elevada probabilidade de errar, quando obviamente não se assegura o ajustamento do aparelho para o material correto em estudo, atendendo que a deteção de humidade é em função da massa do material.
Versátil e programado para o uso em vários tipos de materiais, desde madeira, betonilha, cimento, argamassa, cal e tijolo, com correlações indicativas quanto ao estado seco, valor limite ou húmido demais.	Num mesmo local, recolhe-se valores diferentes, pelo que se têm de ter em conta o seu valor médio.

9.1.2. Síntese dos resultados obtidos no tijolo com o humidímetro, aquando o ensaio de absorção capilar de água

Os pontos isolados marcados a meio do provete (figura 57), indicam as zonas de leitura ao longo do ensaio de absorção de água, sendo que o traço interrompido traduz a configuração da humidade por absorção de água.



Figura 57 Marcação dos pontos isolados no Tijolo A, comprimento total de 22,9 cm

Apresentam-se algumas imagens que comprovam os resultados obtidos, por registo fotográfico, figura 58.



Figura 58 Monitorização da percentagem de humidade do tijolo A, B e C

Nas tabelas 73, 74 e 75, identificam as leituras obtidas com o humidímetro. Durante o ensaio, procedeu-se à monitorização da percentagem de água, mediante os patamares de saturação visíveis, apresentados na coluna esquerda de cada tabela e sempre nos pontos isolados P1, P2, P3 e P4, contudo regista-se que atendendo à aproximação do fluido na superfície (sensivelmente a partir dos 19 cm de altura), nem sempre foi possível recolher leituras para essa escala de sensibilidade.

Tabela 73 Resultados das leituras da amostra A, tijolo

TIJOLO A				
Altura Visível de Água (cm)	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	P4 (20 cm)
5	4,80%	0,00%	0,00%	0,00%
6	5,60%	0,00%	0,00%	0,00%
6	2,09%	0,00%	0,00%	0,00%
6,2	5,03%	0,00%	0,00%	0,00%
6,5	4,50%	0,00%	0,00%	0,00%
6,3	2,70%	0,10%	0,00%	0,00%
6,7	5,30%	0,40%	0,00%	0,00%
7	4,80%	0,00%	0,00%	0,00%
7,2	5,00%	0,70%	0,00%	0,00%
7,7	2,20%	0,40%	0,00%	0,00%
8	2,70%	0,10%	0,00%	0,00%
11	3,10%	5,10%	0,00%	0,00%
11,5	2,40%	5,40%	0,20%	0,00%
11,6	2,70%	5,20%	0,10%	0,00%
11,6	2,50%	5,40%	0,10%	0,00%
12	2,50%	4,40%	0,10%	0,00%
12,3	2,10%	4,50%	0,10%	0,00%
13,2	2,50%	4,50%	0,10%	0,00%
13,5	2,50%	4,60%	0,10%	0,00%
15	2,60%	3,00%	3,50%	0,00%
15	3,20%	4,50%	5,20%	0,00%
16	2,40%	2,10%	3,20%	0,00%
18,5	2,50%	2,20%	4,40%	0,00%
19	3,00%	4,20%	5,50%	0,10%
19	3,10%	2,70%	2,50%	2,30%
20,5	2,50%	2,50%	5,20%	1,80%

Tabela 74 Resultados das leituras da amostra B, tijolo

TIJOLO B				
Altura Visível de Água (cm)	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	P4 (20 cm)
5	2,00%	0%	0%	0%
5	3,90%	0%	0%	0%
5	4,00%	0%	0%	0%
5	2,20%	0%	0%	0%
5	2,30%	0%	0%	0%
5,6	5,00%	0,40%	0%	0%
6	4,40%	0,10%	0%	0%
6,5	4,30%	0,10%	0%	0%
6,5	3,30%	0,10%	0%	0%
6,6	4,30%	0,10%	0%	0%
10	3,00%	2,10%	0%	0%
10	2,30%	2,40%	0%	0%
10,5	3,10%	4,90%	0,10%	0%
11	3,10%	2,50%	0,10%	0%
11,3	2,10%	5,30%	0,10%	0%
11,5	2,10%	3,30%	0,10%	0%
12,2	2,30%	4,50%	0,10%	0%
12,5	2,70%	4,50%	0,10%	0%
14	3,70%	4,60%	2,20%	0%
14	3,00%	2,70%	3,50%	0%
15	3,40%	5,00%	0,40%	0%
17	2,50%	3,90%	5,20%	0%
18	3,70%	3,40%	6,00%	0%
19	4,20%	3,90%	5,30%	0,10%
19	3,00%	3,50%	3,60%	4,10%
Não Visível	3,20%	3,20%	4,10%	5,90%
	3,40%	3,90%	2,80%	6,00%
	2,80%	3,00%	4,10%	6,10%

Tabela 75 Resultados das leituras da amostra C, tijolo

TIJOLO C				
Altura Visível de Água (cm)	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	P4 (20 cm)
5	4,20%	0%	0%	0%
5,1	2,40%	0%	0%	0%
5	4,60%	0%	0%	0%
5,5	2,30%	0%	0%	0%
6	5,00%	0%	0%	0%
6	4,10%	0,50%	0%	0%
6,5	4,40%	0,00%	0%	0%
6,5	2,50%	0,10%	0%	0%
7	4,30%	0,10%	0%	0%
7	2,90%	0,10%	0%	0%
10,5	2,30%	5,20%	0%	0%
10,5	2,60%	5,30%	0,40%	0%
11	2,70%	5,30%	0,40%	0%
11,5	2,70%	5,00%	0,10%	0%
11,5	2,30%	4,50%	0,10%	0%
12	2,50%	3,30%	0,10%	0%
13	2,90%	4,70%	0,00%	0%
13	2,60%	2,50%	0%	0%
15,2	2,90%	3,50%	2,20%	0%
15,2	3,00%	3,20%	0%	0%
16,3	2,80%	4,20%	3,00%	0,10%
19	3,60%	3,80%	5,00%	0,10%
19,5	4,30%	4,00%	5,10%	0,30%
21	2,60%	3,90%	4,20%	5,40%
Não visível	3,00%	3,40%	3,50%	3,50%
	3,90%	2,70%	2,30%	6,40%
	3,50%	3,70%	3,00%	5,80%
	3,50%	2,50%	3,90%	6,30%

Assim, de referir que foram sempre medidos de forma isolada e nos diversos pontos pré-estabelecidos, consoante o avanço do nível de humidade presenciada na superfície lateral do tijolo.

9.1.3. Síntese dos resultados obtidos com o humidímetro no tijolo, após o ensaio por imersão

Apresentam-se alguns registos fotográficos, conforme figura 59.



Figura 59 Monitorização da percentagem da humidade do tijolo A, B e C, após ensaio por imersão

A tabela 76, apresenta as leituras obtidas com o humidímetro, para as amostras saturadas por imersão total.

Tabela 76 Resultados das leituras com humidímetro para tijolo saturado por imersão total

Material	Dígito	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	P4 (20 cm)	Topo da Amostra	Topo Invertido
Tijolo – A	6	4,90%	7,00%	6,00%	Não medido	4,40%	Não Medido
Tijolo - B	6	4,90%	7,00%	6,00%	Não medido	4,40%	6,50%
Tijolo – B	6	3,00%	5,20%	3,00%	Não medido	2,60%	5,10%
Tijolo – C	6	5,00 %	3,00 %	3,90 %	4,20 %	5,30%	6,20%

9.1.4. Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de Granito

Apresentam-se alguns registos fotográficos, conforme figura 60.



Figura 60 Monitorização da percentagem de humidade do granito A

A tabela 77, apresenta as leituras obtidas com o Humidímetro, para a amostra saturada por imersão total.

Tabela 77 Resultados das leituras com humidímetro para granito saturado por imersão total

Material	Dígito	P1 (3 cm)	P2 (4,5 cm)	P3 (9 cm)	P4 (13;5 cm)	Topo da Amostra
Granito -A	3	0,70%	0,60%	0,50%	0,20%	1,0 %
Granito - A	3	0,80%	0,70%	0,40%	0,40%	1,3 %

9.1.5. Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de Calcário

Apresentam-se alguns registos fotográficos, conforme figura 61.



Figura 61 Monitorização da percentagem de humidade do calcário A, B e C

A tabela 78, apresenta as leituras obtidas com o humidímetro, para as amostras saturadas por imersão total.

Tabela 78 Resultados obtidos com humidímetro, para saturação por imersão total

Material	Dígito	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	Topo da Amostra	Topo Invertido
Calcário –A	2	4,50%	4,40%	4,60%	5,20%	6,10%
Calcário –B	3	1,10%	1,90%	0,90%	2,50%	3,5 %
Calcário – B	2	4,50%	4,40%	4,60%	5,20%	6,10 %
Calcário – C	2	5,20%	3,40%	5,10%	4,80%	6,40%

9.1.6. Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de adobe “Aldeia Nova”

Apresentam-se alguns registos fotográficos, conforme figura 62.



Figura 62 Monitorização da percentagem de humidade do adobe "Aldeia Nova"

A tabela 79, apresenta as leituras obtidas com o humidímetro, para as amostras saturadas por imersão total.

Tabela 79 Resultados das leituras com humidímetro para o adobe “Aldeia Nova” saturado por imersão total

Material	Dígito	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	Topo da Amostra	Topo Invertido
adobe –A	4	4,60%	3,40%	4,60%	4,60%	4,60%
adobe –B	2	3,10%	6,70%	3,60%	7,40%	7,10%
adobe – C	2	4,40%	5,00%	6,7%	6,3%	Não Medido

9.1.7. Resultados com o Humidímetro, para as amostras saturadas de adobe “Duarte de lemos”.

Apresentam-se alguns registos fotográficos, conforme figura 63.



Figura 63 Monitorização da percentagem da humidade do adobe “Duarte de lemos”

A tabela 80, apresenta as leituras obtidas com o humidímetro, para as amostras saturadas por imersão total.

Tabela 80 Resultados das leituras com o humidímetro para o adobe “Duarte Lemos” por imersão total

Material	Dígito	P1 (5 cm)	P2 (10 cm)	P3 (15 cm)	P4 (20 cm)	P5 (25 cm)	Topo da Amostra	Topo Invertido
adobe DL –A	4	4,30%	4,60%	4,30%	4,40%	4,30%	4,60%	5,10%
adobe DL –A	2	6,70%	6,80%	6,10%	6,60%	7,30%	5,40%	7,40%
adobe DL –B	4	4,90%	4,60%	4,60%	4,30%	4,60%	4,60%	5,10%
adobe DL –B	2	7,20%	6,40%	6,70%	6,70%	6,40%	7,10%	7,20%
adobe DL - C	4	4,30%	4,30%	3,00%	2,90%	3,00 %	4,30%	4,30%

9.1.8. Conclusão do Ensaio com Humidímetro

Conclui-se que o humidímetro é um dispositivo de leitura eficaz, contudo não é o mais adequado para a realização de inspeções que necessitem de reabilitação de edificação, aquando existência de danos por humidade. Em contrapartida, de forma facilitadora, pode indicar se num determinado elemento em estudo ou a tratar, existe indícios de humidade, pois deteta facilmente a circulação de água na superfície do material.

Salienta-se que no ensaio de absorção capilar, foram recolhidas valores de teores de humidade superficial, sempre nos mesmos pontos isolados, tendo constatado que os mesmos variavam consideravelmente, concluindo que numa estrutura porosa em contacto com água existe sempre presente a circulação de água, tanto aquando o fenómeno da capilaridade (domínio higroscópico ou saturado), como aquando os provetes imersos são avaliados sobre uma tina com água na base inferior (após domínio de humificação sob pressão).

9.2. Ensaio com o equipamento Câmara Termográfica

O equipamento utilizado neste trabalho foi a câmara termográfica (figura 64), em conjunto com o seu software “IRSoft”. Este dispositivo de marca “Testo”, modelo “Testo 875-2”, possui uma sensibilidade térmica de 86 °F (< 80 mK a 30 °C), capacidade em obter imagens visuais infravermelhas e/ou imagens reais.



Figura 64 Câmara Termográfica Testo 875-2

É ainda possível utilizar o equipamento com temperaturas ambientais, compreendidas entre - 15 °C a 40 °C e humidade do ar compreendido entre 20 a 80 %, sem condensação. O

dispositivo permite captar as temperaturas de armazenamento entre os $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, Com recurso ao software “IRSoft” permite demonstrar imagens para uma determinada área superficial de revestimentos ou para um qualquer ponto isolado, [76].

A Câmara termográfica utilizada no ensaio, permite a leitura de imagens infravermelhas para uma gama espectral compreendida entre os 8 a $14\text{ }\mu\text{m}$ e para uma frequência de 9 Hz e ainda permite uma visualização de imagens visuais para uma frequência compreendida entre os 8 a 15 Hz. O fabricante Testo, recomenda que nos materiais com baixa emissividade (ex.º metais polidos) sejam colocados fita adesiva de emissão (N.º do artigo 0554 0051) ou tinta, por forma a melhorar a sua leitura, embora de forma limitada, [76].

Os espectros infravermelhos estão representados por uma paleta de cores específicas, em que por meio da câmara termográfica, permitem avaliar se o teor de humidade presente nos materiais possa ser mais suscetível ao perigo de fungos, mediante avaliação referida na tabela 81.

Tabela 81 Paleta de cores específicas, que traduzem as áreas mais suscetíveis ao perigo de fungos, [76]

Cor	Humidade de superfície	Avaliação
Verde	0 ... 64 % HR	não crítico
Amarelo-alaranjado	65 80 % HR	eventualmente crítico
Vermelho	➤ 80 % HR	Crítico

Possuí a opção de gravar imagens, inserir emissividade de um determinado material, inserir os valores exatos da humidade e temperatura obtidos pelo higrómetro e termómetro, respetivamente.

A tabela 82, apresenta os resultados de emissividades considerados durante o ensaio, bem como os comprimentos de onda correspondentes.

Tabela 82 Valores de emissividade e comprimento de onda de alguns materiais, [77]

Material	Emissividade (ϵ)	Comprimento de onda (μm)
Tijolo	0,93	2 – 5,6
Calcário	0,96	5
Granito	0,96	5
Adobe (Terra)	0,92	Vários valores dependendo da granulometria
Água	0,98	8 – 14

A emissividade é definida como sendo a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um “corpo negro”. O corpo negro é um corpo que absorve toda a luz

recebida e não reflete nenhuma. A emissividade é maior para superfícies rugosas e menor para superfícies lisas. Os materiais não metais (papel, gesso, cerâmica, tinta), plásticos e os alimentos são materiais fáceis de medir a temperatura de superfícies através de infravermelhos, dado que possuem uma emissividade elevada.

As imagens por termografia por infravermelhos medem apenas as humidades superficiais, mas a humidade superficial depende de três fatores; a referir a configuração interna, as condições de superfície (superfície lisa ou rugosa) e o meio ambiente.

9.2.1. Vantagens e desvantagens na utilização da Câmara Termográfica

Esta técnica não destrutiva, não provoca qualquer perturbação à superfície do material em estudo: não provoca pó nem origina detritos, contudo só técnicos com formação específica estão autorizados a exercer esta atividade. Devido ao facto de permitir um reduzido tempo de inspeção, reduzida quantidade de trabalho e quantidade de equipamento (dispensa a utilização de andaimes em zonas inacessíveis), por consequente trata-se de um método de inspeção económico, capaz de analisar quer grandes como pequenas áreas e pode ser reproduzível.

A câmara termográfica, permite determinar e representar sem contato com o material objeto de estudo, a distribuição da temperatura superficial ou percentagem de humidade superficial, entre outras características para algumas aplicações, tais como:

- Avaliação energética de edifícios: Inspeção de edifícios (aquecimentos, ventilações e ar condicionados), técnicas de manutenção, escritórios de engenharia e peritos;
- Controlo de qualidade da produção (supervisão de processos produtivos);
- Manutenção preventiva: inspeção mecânica e elétrica de instalações e máquinas;

Permitir distinguir elementos com emissividades diferentes (madeira, tijolo, elementos de betão armado), conforme figura 65.



Figura 65 Detecção de elementos estruturais, inspeção diurna, IV 490 e IV 551

Permite a deteção de infiltração não visível ou monitorizar elementos de construção, sempre que seja necessário averiguar se os elementos estão adequados para pintar, conforme figura 66.

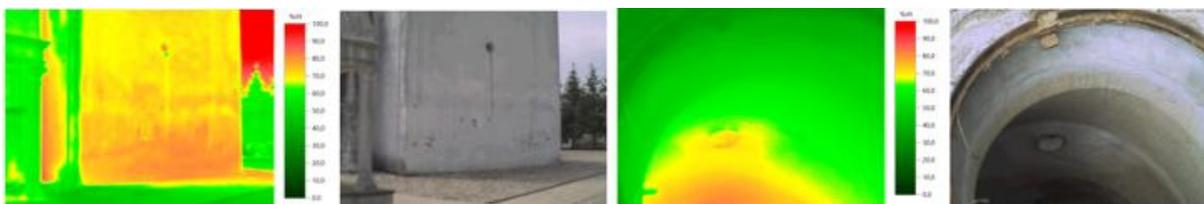


Figura 66 Deteção de infiltração não visível (inspeção diurna) IV 315 e IV 472

Permite averiguar se existe infiltração de ar quente ou frio (fugas de ar), através das frinchas da porta, conforme figura 67.

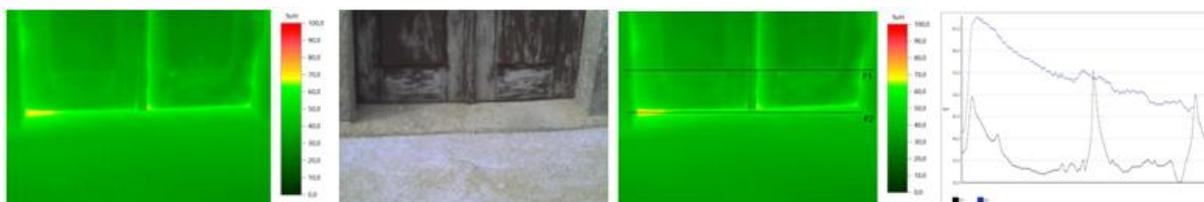


Figura 67 Deteção de inadequado isolamento da porta de acesso, IV 345

Permite a análise térmica do edifício e análise de pontes térmicas (ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais, conforme figura 68).

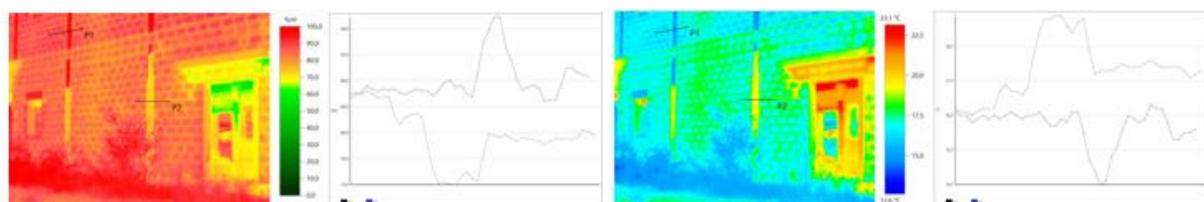


Figura 68 Deteção de pontes térmicas em fachadas, inspeção noturna (devido à transição entre diferentes materiais), IV 225

Este método é ainda adequado, para detetar infiltrações ou fugas de água, sendo necessária uma observação rigorosa quanto à origem de humidade (rutura de canalizações ou precipitação) e sua distribuição. A análise termográfica permite também a visualização, de forma não intrusiva, do traçado de redes de abastecimento de águas (quente e frias) e de drenagem de águas residuais. Esta situação torna-se possível com a passagem de fluídos quentes pelas referidas tubagens, (ex.º deteção de ramais de esgotos).

Permite aferir a medição da temperatura à distância, sem contacto físico, conforme possibilidade atestada através da figura 69.

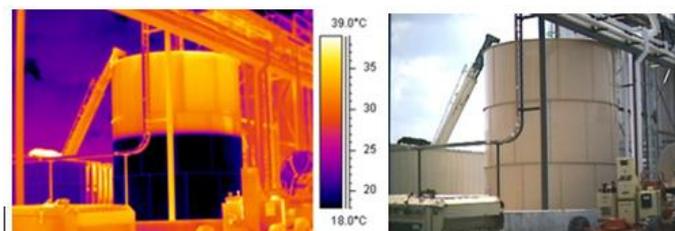


Figura 69 Avaliação da temperatura de um tanque, [17]

Apesar de inúmeras vantagens, existem fatores que potenciam distorções na medição superficial através da câmara termográfica por infravermelhos, tais como a temperatura vizinha, temperatura ambiente e humidade relativa.

O impacto do Sol ou outras fontes de calor também potenciam alterações dos resultados, ou por influência da proximidade de equipamentos elétricos que emitem calor, conforme figura 70.

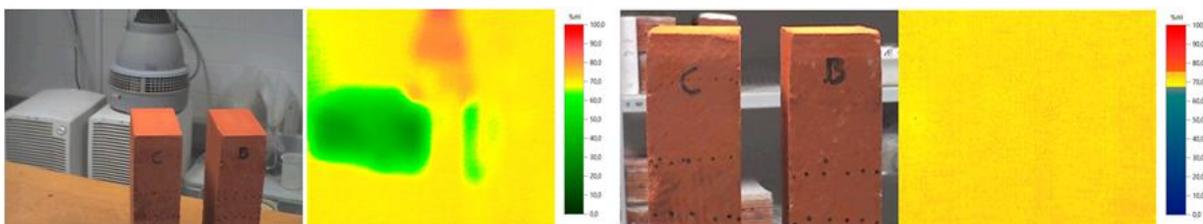


Figura 70 Aproximação de equipamentos elétricos, alteram os resultados dos termogramas

Segundo Lo et al, 2004, o vento é um fator que afeta diretamente a convecção do calor na superfície envolvente, pelo que não é recomendável a recolha de termogramas na presença de ventos superiores a 32 km por hora, [31]. O ângulo de captação da imagem é igualmente um parâmetro a ter em consideração. Quanto maior for a distância da medição, potenciará alterações dos resultados, por influencia da atmosfera.

A existência de obstáculos entre a câmara e a superfície (vegetação, árvores, objetos), potencia alterações dos resultados, conforme figura 71.

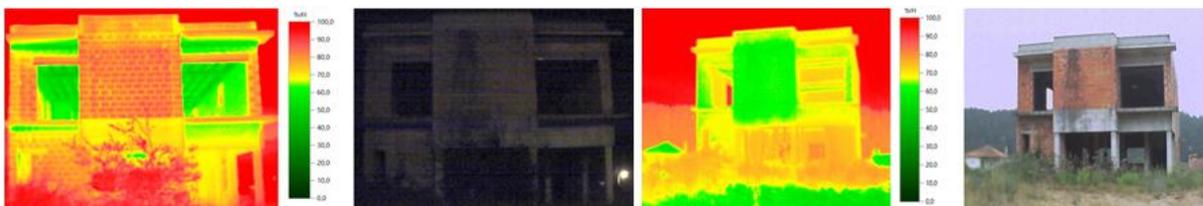


Figura 71 Esq.: imagem IR e real captada à noite, IV 228. Dir.: imagem IR e real captada de manhã. IV 496

Pela figura 71, é possível concluir que as massas húmidas são mais frias que as massas secas, de manhã, com predominância durante o dia, das massas húmidas aumentarem de temperatura

gradualmente, mas de forma mais lenta do que as massas secas. Por outro lado, se a inspeção for realizada no período noturno, as massas húmidas encontram-se mais quentes, ou igualmente quentes, em relação às massas secas.

Quanto ao meio ambiente, é favorável realizar os testes em períodos de dia ou de noite, desde que se depara com um aquecimento ou arrefecimento da superfície do material em estudo.

Não é conveniente efetuar medições quando na presença de nuvens ou condensação, uma vez que estas refletem a radiação infravermelha, atrasando a transferência de calor ou humidade.

9.2.2. Resultados obtidos com a Câmara Termográfica Testo 875-2, caso estudo do paramento da Igreja da Trofa

Comparativamente a outras técnicas de ensaio, permite testar áreas, enquanto outros são técnicas de ensaios em elementos localizados ou em linhas (opção também possível na termografia), conforme exemplo prático na figura 72. Estes termogramas foram colhidos no dia 19 de Junho de 2017 no paramento da Igreja da Trofa, no período da tarde.

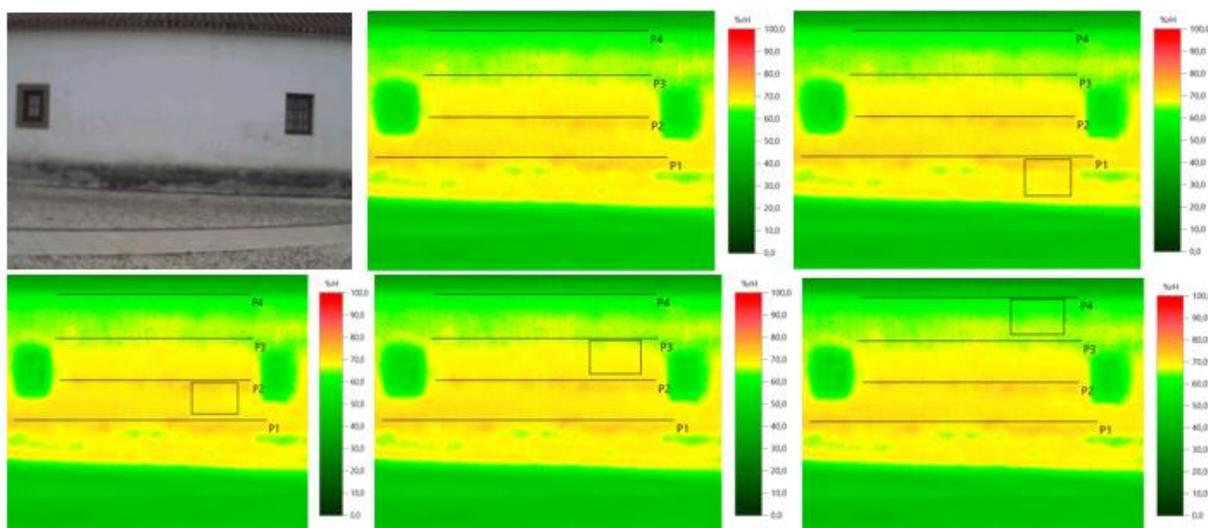
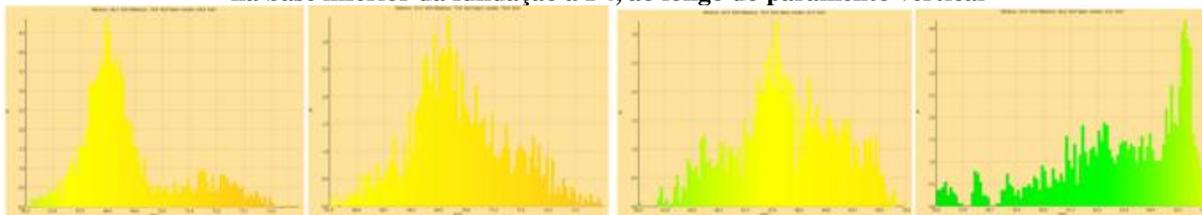


Figura 72 Termogramas, IV 353, 19.06.2017, 16:10 h

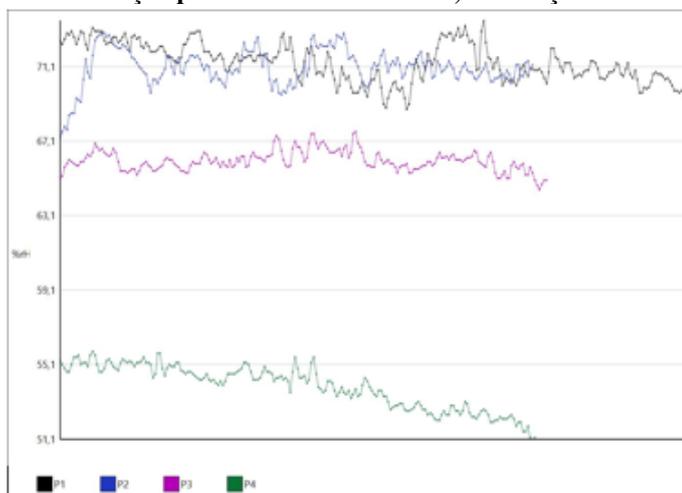
Permite a compilação de vários histogramas, de forma a comparar com mais precisão, as distintas áreas, representadas no paramento, correspondente ao gráfico 51.

Gráfico 51 Histogramas de avaliação quantitativa dos teores de humidade no paramento, IV 353, a iniciar na base inferior da fundação a P4, ao longo do paramento vertical



Permite analisar as distintas linhas horizontais, a iniciar no sentido P1, P2, P3 e elemento P4, de um determinado elemento construtivo, segundo o gráfico 52, indicando a variação percentual dos teores de humidades, a fim de se analisar com mais detalhe.

Gráfico 52 Análise da variação percentual da humidade, em função da sua localização, IV 353



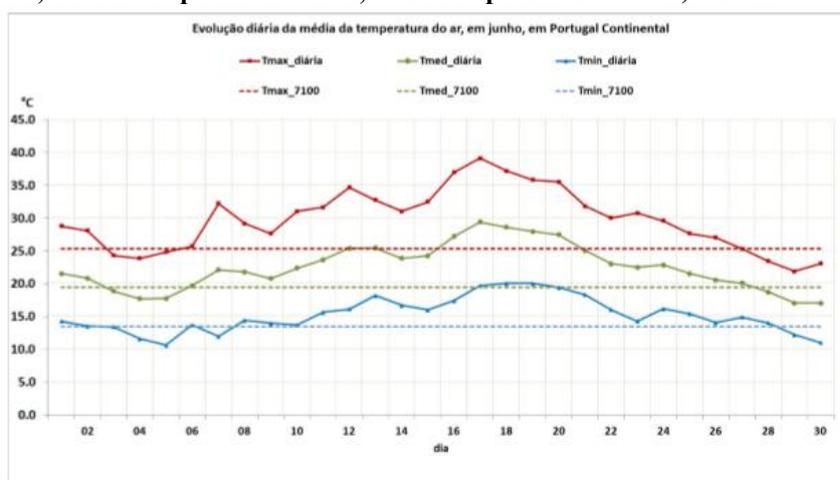
Apresenta-se na tabela 83, os resultados do levantamento IV 353 da figura 69, correspondente ao monumento “Igreja da Trofa”.

Tabela 83 Resultados percentuais de humidade no paramento vertical

Caso estudo	N.º de Imagem Infravermelha / localização	Histogramas das zonas selecionadas			Condições Ambientais			
		Humidade Mínima (%)	Humidade Máxima (%)	Humidade Média (%)	Temp. Refletida (° C)	HR (%)	Temp Amb (° C)	Ponto de Orvalho (° C)
Igreja São Salvador: Fachada em adobe tipo "DL", com danos no reboco por humidade, feito a 19.06.2017	IV 353 [cota do solo - P1]	66,2	74,8	69,4	24	32	39,8	20
	IV 353 [P1 - P2]	67,4	73,8	70,4				
	IV 353 [P2 - P3]	64,9	70,4	67,9				
	IV 353 [P3 - P4]	56	66,6	63,2				

No período a que reporta este ensaio, é importante referir as condições climáticas observadas no período. Assim, por consulta do Boletim climatológico emitido pela IPMA, o mês de Junho de 2017 em Aveiro e Portugal, classificou-se como anormal quer em relação à temperatura do ar, como à não ocorrência de precipitação em condições normais, tendo sido considerado como um mês de seca extrema. Segundo consulta do IPMA, o mês de Junho foi o 3.º mês mais quente desde 1931, tendo ocorrido valores altos de temperatura máxima, muito superiores aos valores normais para este mês, devido a uma massa de ar muito quente e seco, em particular a partir do dia 7 e com destaque para o período de 16 a 19 de Junho.

Gráfico 53 Evolução diária da temperatura do ar de 1 a 30 de Junho de 2017 (Vermelho: temperatura máxima; Verde: temperatura média; Azul: temperatura mínima). Fonte: IPMA, [78]



Segundo o IPMA, no final do mês de Junho em cerca de 80 % do território estava em seca severa e extrema, tendo sido observado a presença de noites trópicas, conforme figura ilustrativa 73.

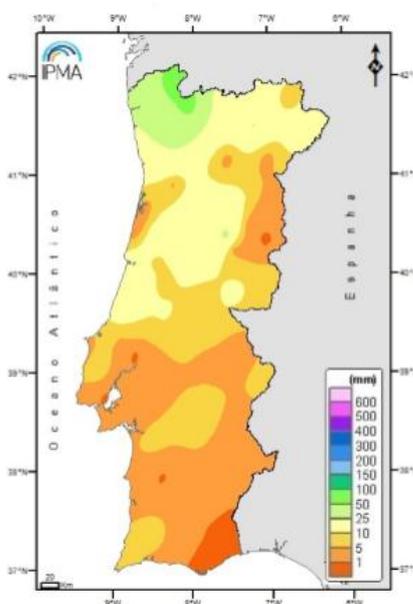


Figura 73 Precipitação total, ocorrida em Junho de 2017. Fonte: IPMA, 3-07-2017, [78]

Por opção, decidiu-se obter registos termográficos, após um considerável período contínuo quente, sem a ocorrência de precipitação por forma a facilitar a expulsão de eventuais gotículas de água nos canais intersticiais do paramento, permitindo assim, conhecer com mais rigor a percentagem de humidade superficial nos revestimentos. Conclui-se que ao nível inferior do paramento vertical da edificação, encontram-se visivelmente danos por humidade, sendo facilmente perceptível e quantificável através das leituras dos termogramas recolhidos no período diurno quente e seco. Foram detetados valores superiores à humidade relativa presenciada no local, o que pelo facto de não ter ocorrido precipitação durante algum tempo, por análise do gráfico 52, presencia-se diferentes níveis de teores de humidade ao longo da altura do paramento, tendo valor manifestamente mais alto ao nível inferior do paramento, o que permite concluir que a origem do dano, está na humidade ascensional. Permite ainda avaliar do ponto de vista qualitativo e quantitativo, que o paramento do edifício, possui um teor de humidade de superfície crítico, face à presença de teores de humidade acima dos 65 %.

9.2.3. Efeito de radiação infravermelha no tijolo

Aquando o ensaio de absorção de água realizado no laboratório, monitorizou-se a percentagem do teor de humidade com a câmara termográfica. Em resultado, obteve-se leituras de espectro infravermelho, nos seguintes estados; leitura na fase inicial (48 horas no interior da câmara climática), ao longo da fase de absorção capilar e ainda aquando os provetes atingiram a saturação por imersão, tendo obtido a imagem de saturação por capilaridade e a imagem de saturação por imersão, correspondente. Após a fase de imersão total das amostras, repetiu-se o processo de secagem na estufa a 105 ° C e foram obtidas as leituras termográficas, imediatamente após a remoção de cada amostra do interior da estufa.

- Efeito da radiação infravermelha no tijolo, aquando a fase intermédia do ensaio de absorção capilar

Seguidamente, apresentam-se os termogramas com os resultados obtidos, aquando o ensaio inicial de absorção de água do tijolo, permitindo uma análise mais detalhada às superfícies, conforme figura 74.

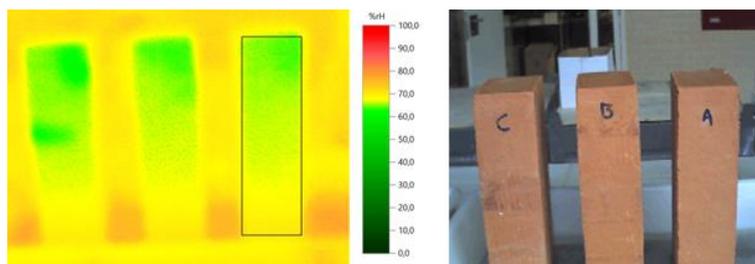


Figura 74 Esq.: imagem IV 158 . Dir: imagem real IV 158: 14.06.2017, 16:31:17

No termograma também é possível selecionar elementos isolados, que através do programa informático, nos indica os valores, por forma a compilar os resultados que constam na tabela 83. Os elementos isolados que foram selecionados no tijolo, encontram-se representados na figura 75, nomeadamente; os pontos M1, M4, M7 para o tijolo A, os pontos M2, M5 e M8 para o tijolo B e os pontos M3, M6 e M9 para o tijolo C com a especial atenção dos pontos intermédios M4, M5 e M6 ficarem posicionados aproximadamente, na zona de transição da escala de sensibilidade.

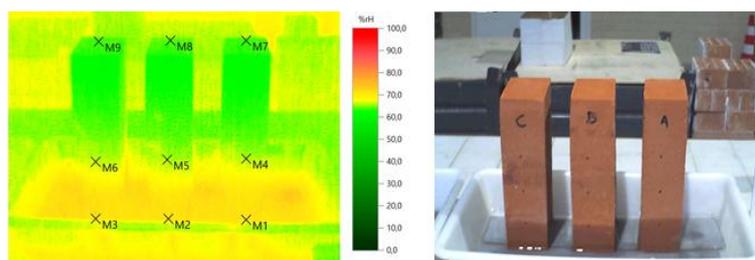
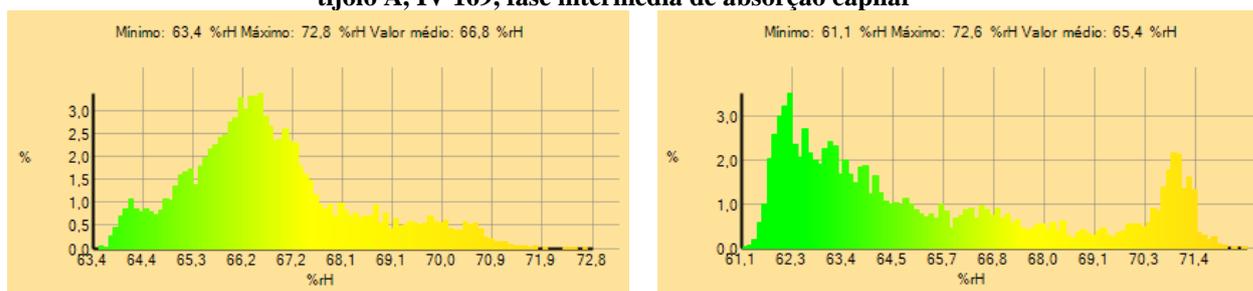


Figura 75 Esq.: imagem IV 169, a 5 cm de absorção. Dir.: imagem real IV 169, 14.06.2017, 20:32:05

A câmara termográfica permite medir a radiação e converter em histogramas de temperatura ou histogramas de percentagem de humidade, consoante o que utilizador pretenda analisar. O gráfico 54 refere os histogramas da zona de superfície selecionada na amostra de tijolo A, para duas fases distintas do ensaio de absorção capilar, a referir a correspondente à imagem IV 158 e IV 169. Ambos os cenários, indicam o valor percentual mínimo, máximo e médio de Humidade.

Gráfico 54 Esq.: histograma do tijolo A, IV 158, início do ensaio de absorção capilar; Dir.: histograma do tijolo A, IV 169, fase intermédia de absorção capilar



Os histogramas entre as duas fases, revelam uma alteração das percentagens de humidade superficiais.

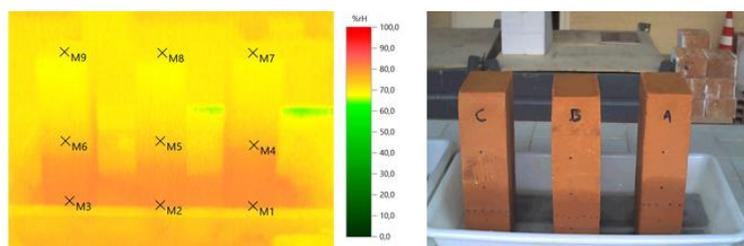


Figura 76 Esq.: imagem IV 170, com 10 a 12 cm de absorção, 14.06.2017; 20:32:15.

Pela figuras 75 e 76, é possível concluir que para distintos períodos de absorção de água no tijolo (com um mínimo de 10 cm de absorção), e dependendo do lado da face do tijolo, a circulação de água se processa de forma mais acelerada nos lados, sendo que as gotículas de água circulam a uma velocidade mais elevada para os topos laterais e depois nota-se que os canais intersticiais são preenchidos do exterior para a zona interior do tijolo, onde existe uma predominância não linear visível, mas por outro lado uma predominância linear por infravermelhos.

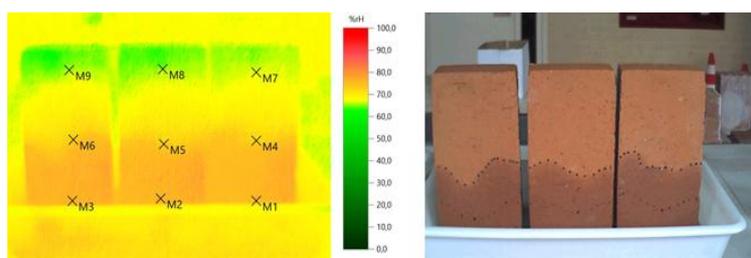
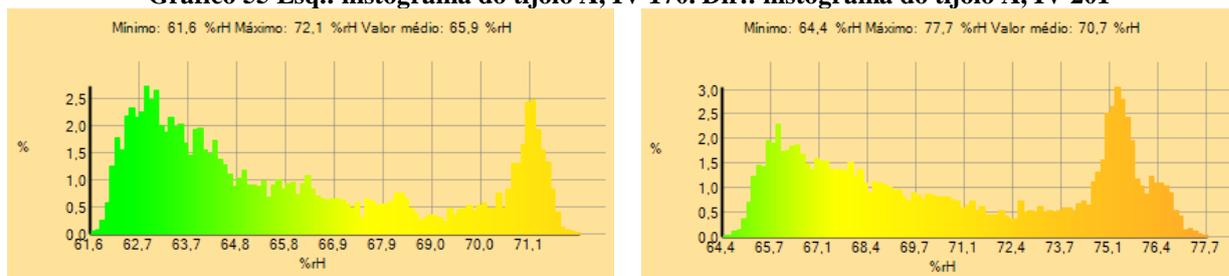


Figura 77 Esq.: imagem IV 201, com mínimo de 10 a 12 cm de absorção na envolvente Direita: imagem real IV 201, 15.06.2017; 15:33:19.

O gráfico 55 representa os histogramas da zona de superfície seleccionada na amostra de tijolo A, para duas fases distintas aquando o ensaio de absorção de água, a referir a correspondente à imagem IV 170 e IV 201

Gráfico 55 Esq.: histograma do tijolo A, IV 170. Dir.: histograma do tijolo A, IV 201

Segue-se fase intermédia correspondente à figura 78, sem ainda se observar visualmente o surgimento de água na face superior do tijolo, contudo pela imagem infravermelha não é detetável essa diferença.

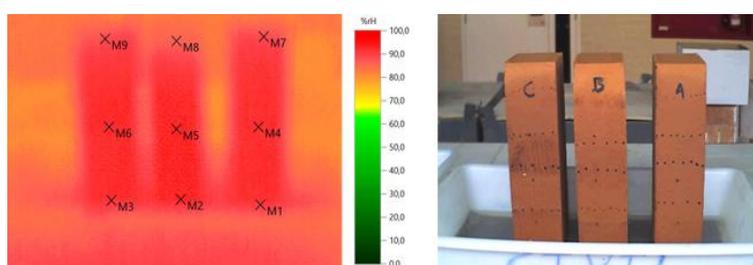


Figura 78 Esq.: Imagem IV 296, com mínimo de 21 cm de absorção capilar. Dir: imagem real IV 296, 18.06.2017; 10:55:23

Na figura 79, é possível observar o termograma correspondente à fase de saturação por imersão parcial, na qual surge água na face superior do tijolo. Nota-se que a imagem infravermelha, está com uma escala mais nítida e deixou de ter o efeito de sombra na envoltória aos provetes, comparativamente à imagem infravermelha da figura 78.

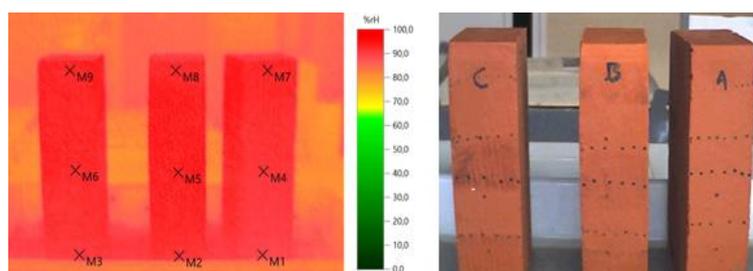
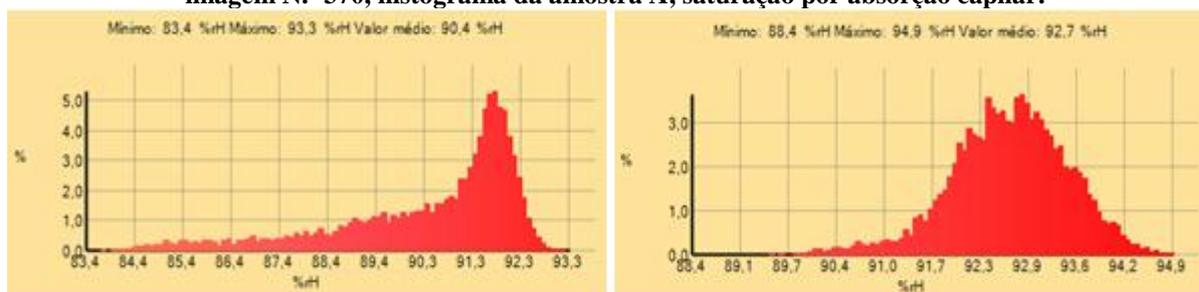


Figura 79 Esq.: Imagem N.º 370, com água visível na superfície superior. Direita: Imagem real IV 370, 19.06.2017, 19:30:34

O gráfico 56 representa os histogramas da zona de superfície selecionada na amostra de tijolo A, para duas etapas diferentes da circulação de água, nomeadamente a imagem IV 296 e IV 370. Constatam-se significativas diferenças quanto à forma e simetria do histograma.

Gráfico 56 Esq.: imagem N.º 296, histograma da amostra A, fase intermédia de absorção capilar. Dir.: imagem N.º 370, histograma da amostra A, saturação por absorção capilar.



Apresenta-se a escala de sensibilidade para a determinação da percentagem de humidade superficial.

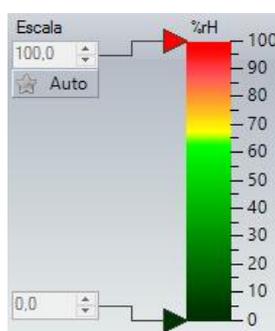


Figura 80 Software IR Soft: Escala de Percentagem de Humidade da câmara termográfica, Testo 875-2

As amostras de tijolo, representada na figura 78 (imagem real N.º 296), apesar da proximidade do teor de humidade à face superior dos tijolos (21 cm), ainda não é detetada visivelmente, a presença de humidade na superfície de qualquer dos provetes, sendo que o termograma resultante, demonstra uma cor de contraste forte e próxima do vermelho, mas com um sombreamento na envolvência. A amostra do tijolo com presença visível de humidade no topo das amostras, figura 79 (imagem real N.º 370), comparada à escala de sensibilidade programada na câmara termográfica (figura 80), possui uma cor forte e com alto valor percentual de humidade, pelo que se pode monitorizar e avaliar qualitativamente e quantitativamente as distintas fases de absorção capilar de água. A imagem n.º 370 do gráfico 56, representa a etapa de saturação dos tijolos, por absorção capilar por imersão parcial e possui uma curva mais uniforme e o seu histograma é aproximadamente simétrico, contrariamente ao histograma da imagem IV 296, que apresenta uma forma irregular e picos nas extremidades mais à esquerda do gráfico.

De forma a avaliar o comportamento, manteve-se os tijolos na tina com água, a fim de se obter o registo termográfico correspondente às amostras com a massa estabilizada, conforme figura 81.

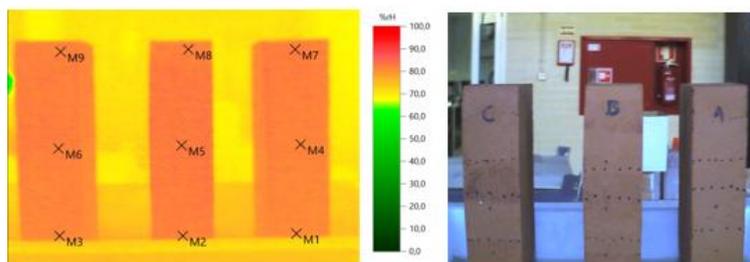
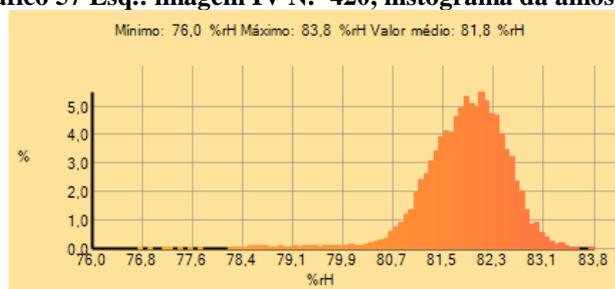


Figura 81 Esq.: Imagem N.º420, com água visível na superfície superior. Direita: Imagem real IV 420, 20.06.2017, 12:24:33

O gráfico 57 representa o histograma da zona de superfície selecionada na amostra de tijolo A, para a fase de estabilização da massa, por saturação via imersão parcial, correspondente à figura IV 420. De salientar uma forma regular e mais simétrica do histograma, comparativamente às outras fases, tendo-se registado inclusive a redução da distribuição percentual unitária para um intervalo percentual de humidade, compreendido entre 76 a 83,8 %, aproximadamente. Apesar da simetria mais perfeita, possui menor tonalidade de cor mas influenciada pelas condições ambientais, uma vez que a humidade relativa é de 42 % e temperatura ambiente é de 32,6 ° C, o que permite concluir, que houve um aumento da humidade máxima superficial em cerca de 41,87 %, o que revela que os provetes continuam a aumentar o peso volúmico de teor de água.

Gráfico 57 Esq.: imagem IV N.º 420, histograma da amostra A



- Efeito da radiação infravermelha no tijolo, fase final do ensaio de absorção por imersão

Após a imersão dos provetes por um período superior a 24 horas e aquando a remoção das amostras do recipiente cheio de água, foram seguidamente pesados e registados os pesos de todos os elementos. Após a medição que durou poucos minutos e atendendo à necessária preocupação das amostras representarem as reais condições de imersão, foram recolocadas no interior do recipiente cheio de água até se iniciar o correspondente levantamento termográfico.

Desta forma a figura 82, demonstra o registo correspondente à etapa de manuseamento das amostras saturadas, para uma tina com cerca de 1 cm de água.

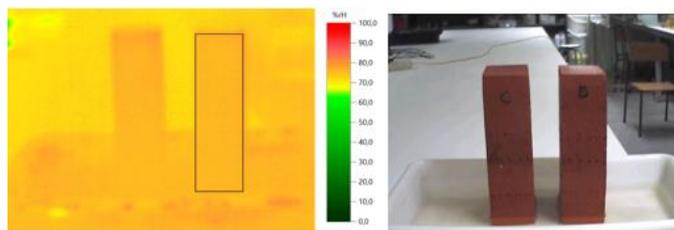
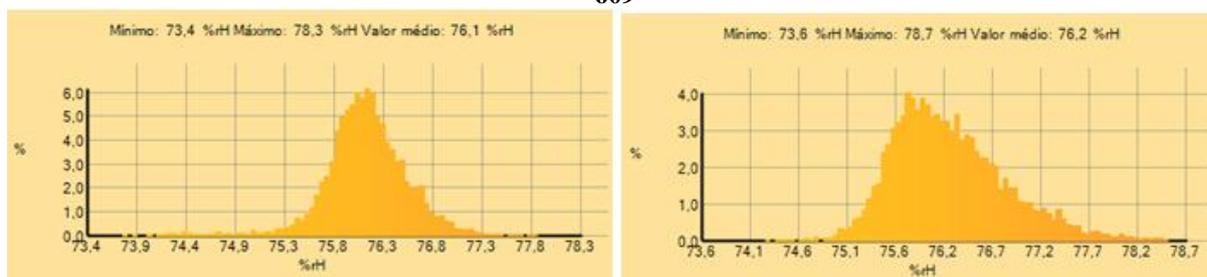


Figura 82 Esq.. imagem IV 609, amostra B e C saturada por imersão. Dir.: imagem real IV 609, 7.07.2017; 18:52:11

Gráfico 58 Esq.: Histograma da amostra B, imagem IV 609. Dir.: Histograma da amostra C, imagem IV 609



O gráfico 58, indica que o provete C correspondente à fase de saturação por imersão, não possui um histograma simetricamente perfeito quando comparado com o provete B, ambos expostos às mesmas condições de pressão (imagem IV 609), o que pode ser motivado pelo maior tempo aquando o manuseamento das amostras na operação da pesagem hidrostática. Contudo, observam-se que os teores percentuais de humidade superficial para ambos os provetes B e C, são equivalentes e apresentam os valores mais inferiores de teor de humidade superficial, quando comparados com as fases de saturação por imersão parcial ou saturação por estabilização de massa. Ainda se constata uma ligeira redução na tonalidade da cor, em relação à escala de sensibilidade da câmara termográfica, porém condicionadas pelas condições ambientais. Por outro lado, os histogramas correspondentes às amostras saturadas por imersão (Gráfico 58, imagem IV 609), possui uma tendência de simetria mais à esquerda.

- Síntese dos resultados termográficos do tijolo

Com o apoio do software “IRSoft” disponibilizada pelo fabricante “Testo”, foi possível organizar melhor toda a informação na tabela 84, por forma a analisar com mais detalhe os valores respeitantes ao teor de humidade superficial e atendendo às diferentes condições ambientais observadas.

Tabela 84 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do tijolo

N.º de Imagem Infravermelha	Histogramas do Tijolo A			Condições Ambientais				Elementos											
	Humidade Mínima (%)	Humidade Máxima (%)	Humidade Média (%)	Temp. Refletida (°C)	HR (%)	Temp Amb (°C)	Ponto de Orvalho (°C)	Humidade (%): Tijolo A				Humidade (%): Tijolo B				Humidade (%): Tijolo C			
								1	4	7	Média (%)	2	5	8	Média (%)	3	6	9	Média (%)
IV 158	63,4	72,8	66,8	20	70	23,1	17,4	70,1	66,9	64,7	67,23	70,5	67,6	63,9	67,33	70,3	66,9	63,1	66,77
IV 169	61,1	72,6	65,4	20	64	23,3	16,2	71,1	65,7	64,2	67,00	70,40	66,30	64,00	66,90	71,80	66,30	63,80	67,30
IV 170	61,6	72,1	65,9	20	64	23,3	16,2	80,2	76	69,4	75,20	80,20	72,90	69,90	74,33	80,00	74,20	70,00	74,73
IV 201	64,4	77,7	70,7	20	65	22,1	15,2	75,6	72,3	67,1	71,67	76,10	73,40	65,00	71,50	76,70	73,20	65,70	71,87
IV 296	83,4	93,3	90,4	24	78	23,4	19,3	90,8	92	88,1	90,30	93,00	92,60	86,20	90,60	91,70	92,20	88,10	90,67
IV 370	88,4	94,9	92,7	24	75	25	20,3	89,1	91,6	92,1	90,93	91,50	93,90	92,20	92,53	90,10	92,40	92,40	91,63
IV 420	76	83,81	81,8	24	42	32,6	18	81	82,2	81,9	81,70	81,90	82,70	82,70	82,43	81,40	82,50	81,90	81,93
IV 609	Não medido			24	65	23,4	16,4	Não medido				73,40	73,80	76,10	74,43	73,60	78,70	76,20	76,17

À semelhança do levantamento termográfico que se apresenta para o tijolo, segue-se nos próximos subcapítulos, a demonstração dos resultados para os restantes materiais, quer do ponto de vista qualitativo (termogramas, histogramas) como quantitativo (resultados mínimos, médios e máximos).

9.2.4. Efeito da radiação infravermelha no granito

O ensaio de absorção do granito iniciou-se no dia 15.06.2017, pelas 11:00 horas.

Apresentam-se as zonas seleccionadas, que estão compiladas na tabela 85, em função das distintas condições climáticas, tendo sido seleccionado os pontos M4, M5 e M6 na zona de transição entre as diferentes escalas de sensibilidade, quando aplicável, conforme figura 83.

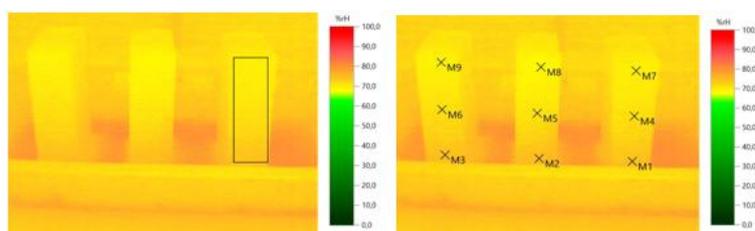
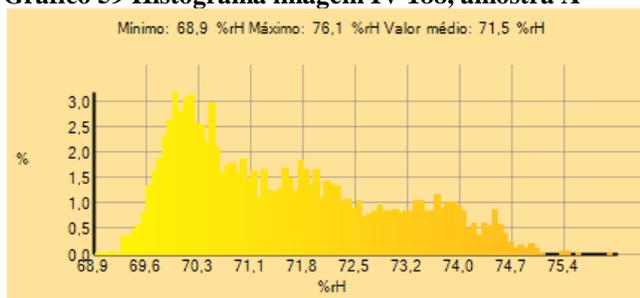
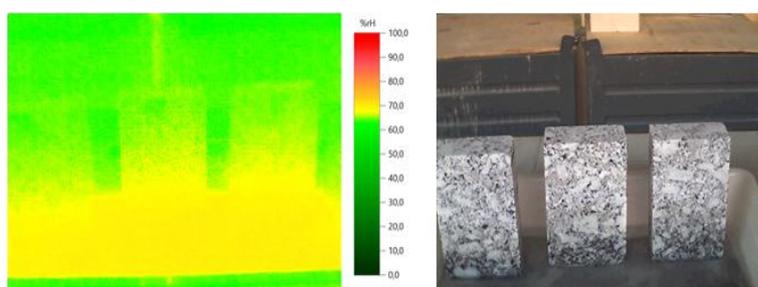


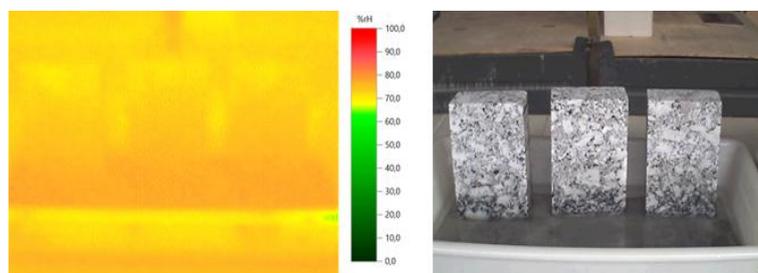
Figura 83 Esq.. imagem IV 188, seleção superfície amostra A. Dir.: imagem IV 188, seleção pontos isolados nas amostras, fase inicial, 15.06.2017; 11:12:39

Gráfico 59 Histograma imagem IV 188, amostra A

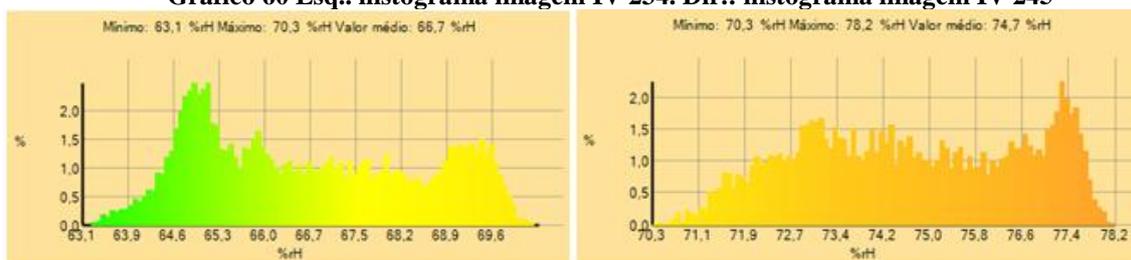
O granito, é um material que não se deteta facilmente a zona húmida, contudo pelo gráfico 59 e figura 84, é possível perceber que existe uma pequena variação do teor de humidade superficial.

**Figura 84 Esq.: imagem IV 234 na fase intermédia. Dir.: imagem real IV 234, 16.06.2017, 11:24:21**

A figura 85, regista o termograma do granito, com registo de aumento de humidade superficial, contudo ainda baixo.

**Figura 85 Esq.: imagem IV 245, fase intermédia. Dir.: imagem real IV 245, 16.06.2017, 16:21:17**

O gráfico 60, apresenta os histogramas referentes a dois períodos distintos, na fase intermédia da absorção de água.

Gráfico 60 Esq.. histograma imagem IV 234. Dir.: histograma imagem IV 245

A figura 86, demonstra a escala de sensibilidade obtida, mais elevada, apesar da amostra de granito se encontrar posicionada permanentemente com água ao nível inferior, desde o dia 15.06.2017.

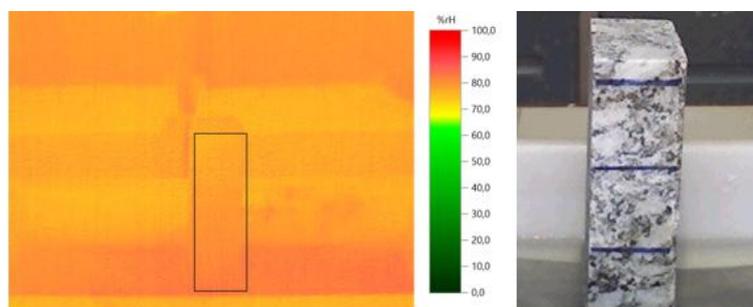


Figura 86 Esq.: imagem IV 267 fase intermédia. Dir.: imagem real IV 267, 17.06.2017; 13:52:24

A figura 87, demonstra que apesar do granito se encontrar exposto de forma prolongada e duradoura em contacto com a água, os canais intersticiais existentes no granito, não favorecem a circulação de água por capilaridade, pelo que a água não chegará ao topo superior da amostra.

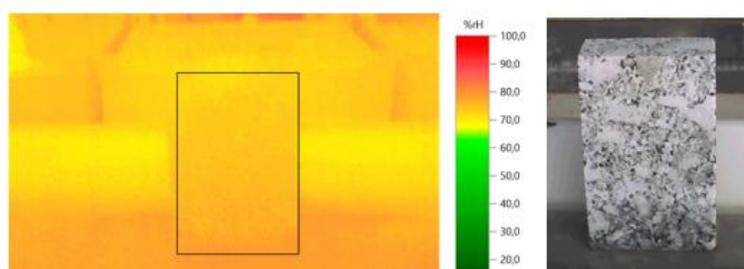
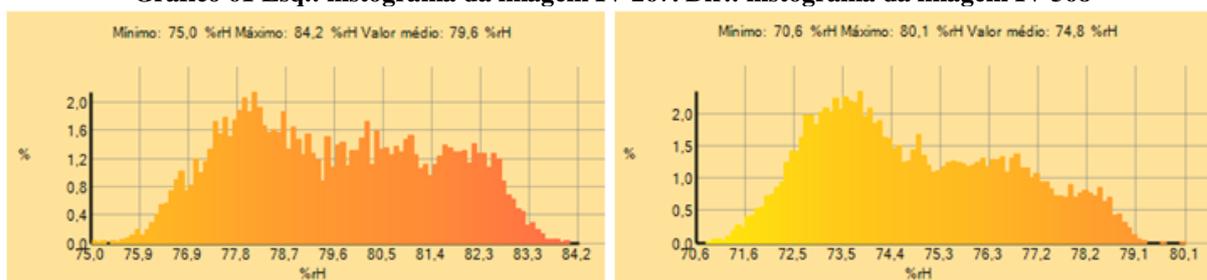


Figura 87 Esq.: imagem IV 368. Dir.: imagem real IV 368, 19.06.2017; 17:49:39

O gráfico 61, demonstra a diferença do contraste da cor nas duas fases, verificando-se que resultou uma redução da escala de sensibilidade, o que revela uma redução do valor percentual da humidade. O provete referente à imagem IV 267, ainda se encontrava em fase de absorção de água, já a imagem IV 368 revela ser uma fase posterior, à fase de absorção capilar por saturação, isto é a fase de desadsorção.

Gráfico 61 Esq.: histograma da imagem IV 267. Dir.: histograma da imagem IV 368



- **Efeito da radiação infravermelha no granito, aquando a fase final de saturação por imersão**

A figura 88, apresenta o termograma correspondente às amostras B e C, que estiveram após absorção capilar, 24 horas em imersão total.

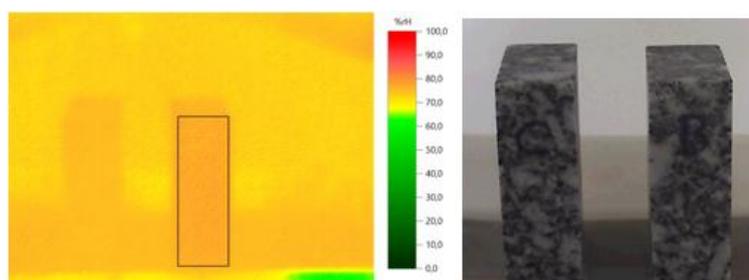


Figura 88 Esq.. imagem IV 463 (amostras B e C) saturadas por imersão. Dir.: imagem real IV 463, 20.06.2017, 22:14:03

A figura 89, apresenta o termograma correspondente à amostra A, realizada no interior da câmara climática, tendo o seu tempo de exposição por absorção capilar sido mais reduzido, somando a esse período as correspondentes 24 horas em imersão total.

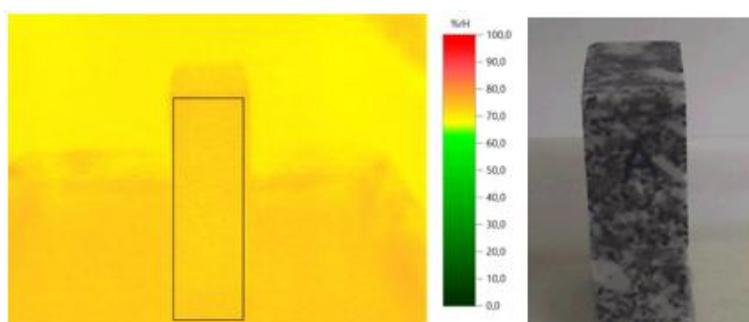
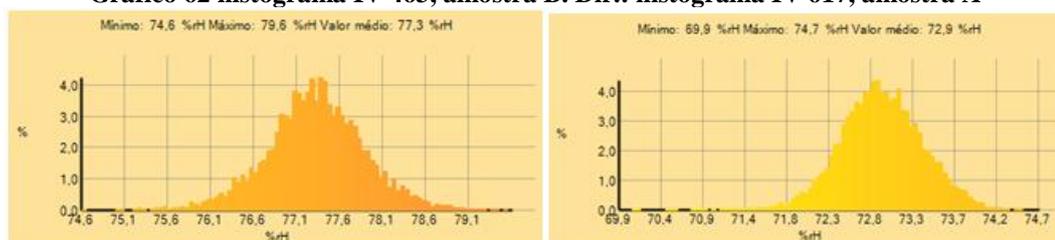


Figura 89 Esq.. imagem IV 617 (amostra A saturada por imersão). Dir.: imagem real IV 617, 7.07.2017; 18:55:30

Pelos histogramas do gráfico 62, constata-se que a amostra A, apresentar menor percentagem de humidade, com um valor médio de 72,9 %, e as amostras B e C apresentam o valor correspondente ao valor médio de 77,3 %, pelo que permite concluir que os resultados do teor de humidade superficial, resultantes da fase de imersão, são inferiores aos valores alcançados pelos histogramas aquando ainda posicionados por imersão parcial.

Gráfico 62 histograma IV 463, amostra B. Dir.: histograma IV 617, amostra A



- Síntese dos resultados termográficos do granito

Apresentam-se os resultados dos valores percentuais obtidos, na tabela 85.

Tabela 85 Síntese dos valores percentuais de teor de humidade superficial no granito

N.º de Imagem Infravermelha	Histogramas do Granito A			Condições Ambientais				Elementos											
								Humidade (%): Granito A				Humidade (%): Granito B				Humidade (%): Granito C			
	Humidade Mínima (%)	Humidade Máxima (%)	Humidade Média (%)	Temp. Refletida (°C)	HR (%)	Temp Amb (°C)	Ponto de Orvalho (°C)	1	4	7	Média (%)	2	5	8	Média (%)	3	6	9	Média (%)
IV 188	68,9	76,1	71,5	20	67	22,2	15,7	74,3	71,2	70	71,83	75,3	71,7	69	72,00	74,4	71,6	69	71,67
IV 234	63,1	70,3	66,7	20	50	25,9	14,6	69,3	67,5	64,9	67,23	69,5	66,7	63,6	66,60	67,9	65,6	65	66,17
IV 245	70,3	78,2	74,7	23	68	23,1	16,8	77,3	74,9	71,1	74,43	76,6	74,7	70,8	74,03	76,5	73,2	70,6	73,43
IV 267	75,2	83,7	79,5	23	72	23,6	18,2	75	84,2	79,6	79,60	Não medido							
IV 368	71,2	78,5	74,5	24	70	24,7	18,9	70,6	80,1	74,8	75,17	Não medido							
IV 463 (imersão)	Não medido			24	67	24,6	18	Não medido				76,3	77,9	76,8	77,00	74,9	75,3	75,7	75,30
IV 617 (imersão)	69,9	74,7	72,9	24	65	23,4	16,4	73,7	72,8	73,7	73,40	Não medido							

9.2.5. Efeito da radiação infravermelha no calcário

O ensaio iniciou-se no dia 16.06.2017, pelas 18:36 horas. Apresentam-se as zonas selecionadas na figura 90, que estão compiladas na tabela 85, em função das distintas condições climáticas, tendo sido igualmente selecionados os pontos M4, M5 e M6 na zona de transição entre as diferentes escalas de sensibilidade, sempre que aplicável.

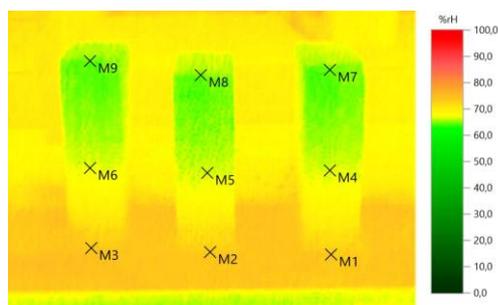


Figura 90 Termograma com identificação dos pontos isolados na face inferior, zona de transição entre escalas de diferente sensibilidade e face superior, imagem IV 252: 16.06.2017;19:56:13 h

A figura 91, apresenta a fase intermédia da absorção de água do calcário.

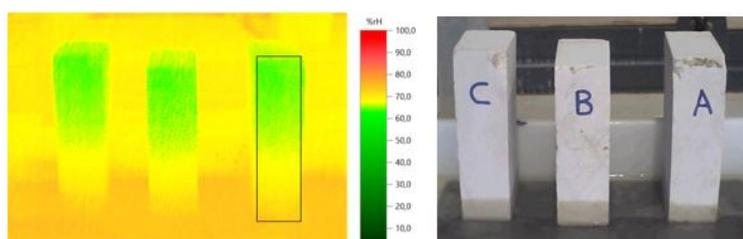


Figura 91 Esq.: imagem IV 252, com 5 cm de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 252, fase inicial 16.06.2017; 19:56:13 h

A figura 92, apresenta a ainda fase intermédia do calcário.

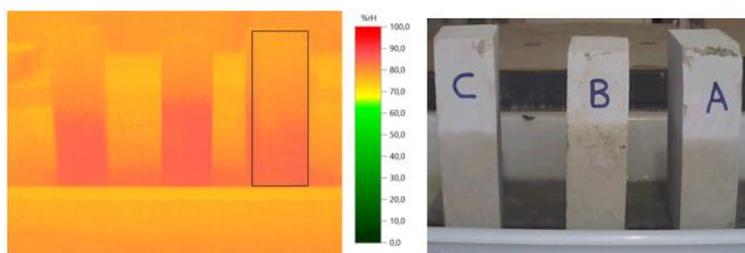


Figura 92 Esq.: imagem n.º IV 271 com 12 a 13 cm de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 271, 17.06.2017; 13:53:28 h

O gráfico 63, apresenta os histogramas de dois momentos distintos, ao longo do ensaio de absorção capilar.

Gráfico 63 Esq.: Histograma IV 252, amostra A. Dir.: Histograma IV 271, amostra A

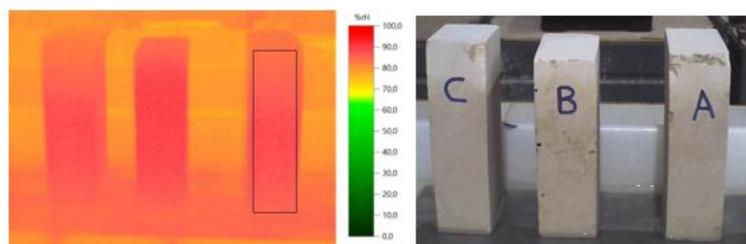
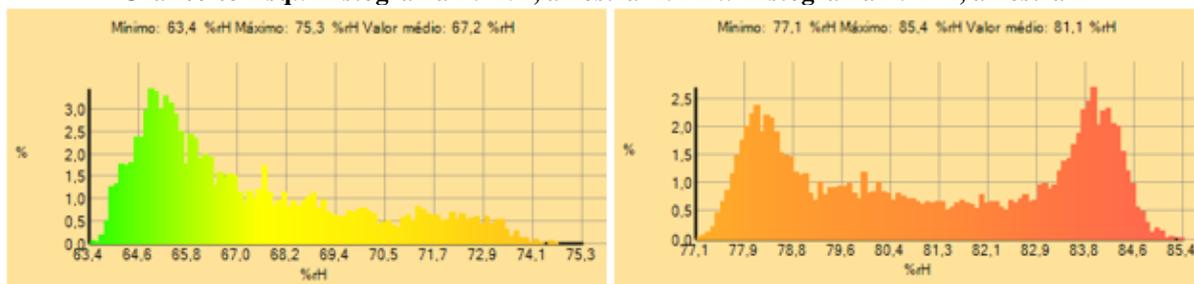


Figura 93 Esq.: imagem IV 306, com água visível na superfície superior. Dir.: imagem real IV 306, 18.06.2017; 18:33:08 h

A figura 93 evidencia a zona de absorção de água, contudo do ponto de vista ocular, não é visível a presença da humidade da água no topo superior. Contudo, pela imagem infravermelha, comprova que a humidade tinha alcançado o topo superior das amostras, tendo sido inclusive, o termograma obtido com maior contraste vermelho, em termos de escala de sensibilidade.

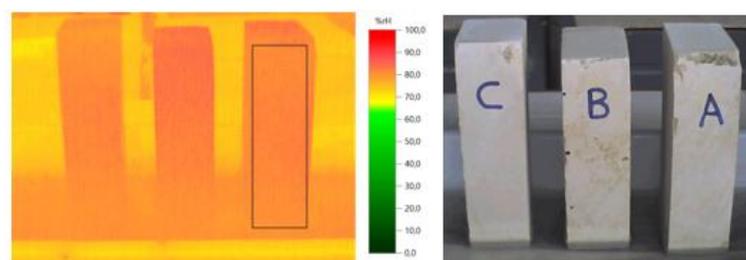
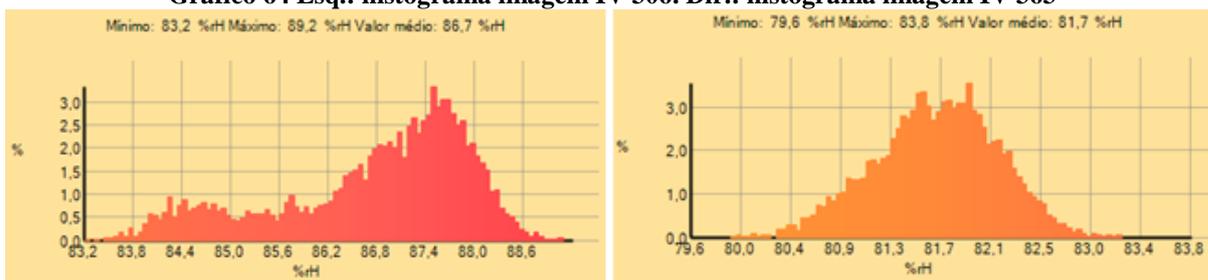


Figura 94 Esq.: imagem IV 363. Dir.: imagem real IV 363, 19.06.2017; 17:43:02 h

Pela figura 94, confirma-se a presença de água no topo superior das amostras de calcário, contudo, pelos histogramas apresentados no gráfico 64, verifica-se que o valor percentual de humidade é inferior, comparativamente à imagem IV 306. Não obstante, o termograma da imagem IV 363 é o mais simetricamente perfeito e na realidade possui um ganho de humidade superficial, justificado pela diferença de 14,80 % entre a humidade superficial máxima e a humidade relativa da imagem IV 363, comparativamente à inferior diferença dos 12,20 % de humidade superficial e correspondente humidade relativa, da imagem IV 306.

Gráfico 64 Esq.: histograma imagem IV 306. Dir.: histograma imagem IV 363



Para aferir se as amostras de calcário ganhavam mais água, não foram removidas da tina com água, tendo constatado pela figura 95, que em termos da cor da escala de sensibilidade, não decorreu mais ganho de humidade, contudo houve um ganho percentual de 41,10 % de humidade superficial acumulada.

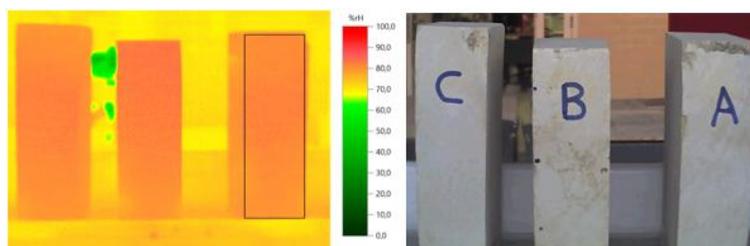
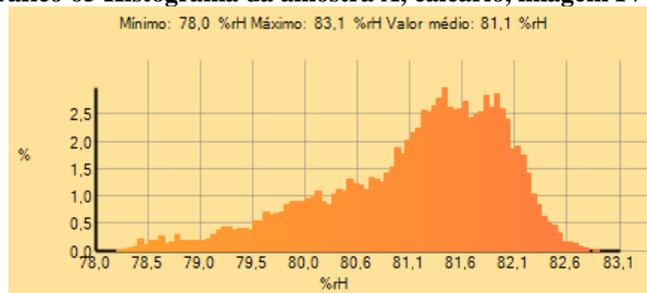


Figura 95 Esq.: seleção da área superficial IV 419, amostra A. Dir.: imagem real IV 419, 20.06.2017; 12:23:59

Pelo gráfico 65, o calcário obteve uma humidade máxima superficial de 83,10 %, valor muito próximo aquando atingiu água no topo das amostras.

Gráfico 65 Histograma da amostra A, calcário, imagem IV 419



- Efeito da radiação infravermelha no calcário, aquando a fase final de saturação por imersão

Por forma a avaliar através dos termogramas o distinto comportamento superficial da amostra saturada por imersão total, perante a presença ou não de água a um nível inferior, procedeu-se a uma leitura da amostra A, posicionada num recipiente com água ao nível da base inferior (figura 96) e outra leitura aquando a mesma amostra se encontrava posicionado, sobre um papel humedecido (figura 97).

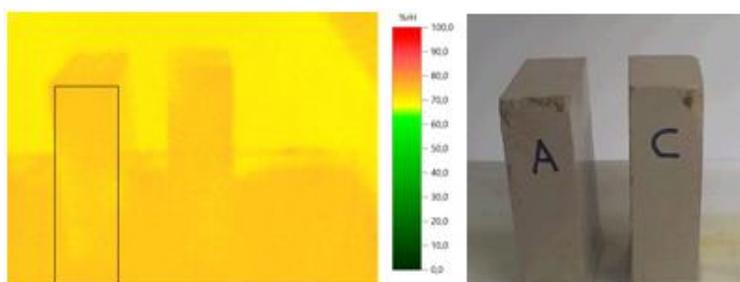


Figura 96 Esq.: imagem IV 618, em contacto com lâmina de água ao nível inferior. Direita: imagem real IV 618. 7.07.2017; 19:00:27 h

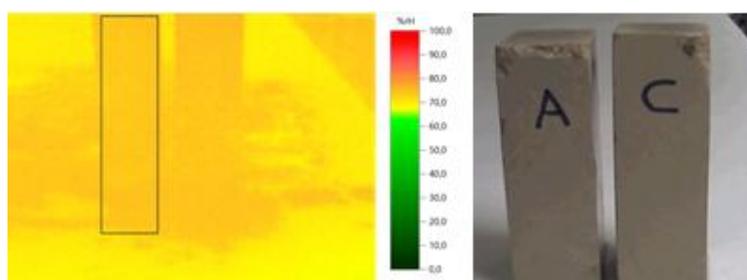
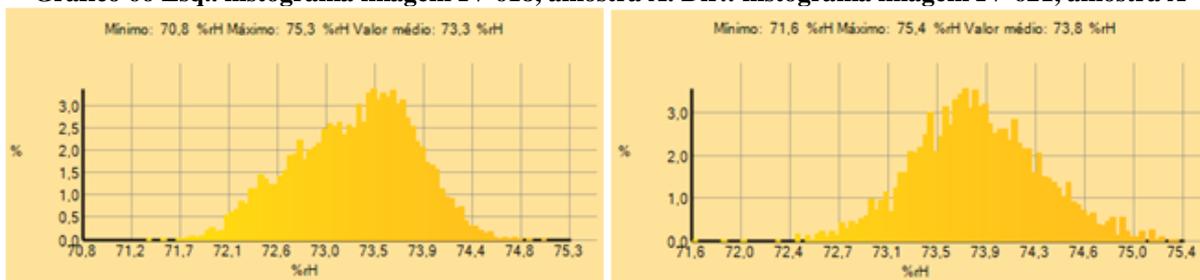


Figura 97 Esq.: imagem IV 621, sem contacto de lâmina de água ao nível inferior. Dir.: imagem real IV 621, 7.07.2017; 19:00:57 h

Gráfico 66 Esq.. histograma imagem IV 618, amostra A. Dir.: histograma imagem IV 621, amostra A



Por comparação dos histogramas de uma mesma amostra de calcário para as mesmas condições ambientais, mas exposta a condições externas diferentes, observa-se pelos histogramas (gráfico 66), que a amostra posicionada sobre os panos húmidos (imagem IV 621), têm um maior arranjo dos teores percentuais de humidade comparativamente ao histograma da amostra sobre a lâmina de água (imagem IV 618). Permite, aperceber que na

amostra sobre os panos húmidos, os canais intersticiais estão sujeitos a uma maior pressão correspondente à inversão do ciclo de transporte de água (desadsorção), relevado pelo histograma que manifesta uma imediata redistribuição dos valores percentuais de humidade aquando comparado à fase anterior e tendencialmente para a esquerda.

- Síntese dos resultados termográficos do calcário

Apresenta-se na tabela 86, toda a informação compilada resultante da interpretação dos termogramas e histogramas, em função dos condicionalismos ambientais observadas.

Tabela 86 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do calcário

N.º de Imagem Infravermelha	Histogramas do Calcário A			Condições Ambientais				Elementos											
	Humidade Mínima (%)	Humidade Máxima (%)	Humidade Média (%)	Temp. Refletida (°C)	HR (%)	Temp Amb (°C)	Ponto de Orvalho (°C)	Humidade (%): Calcário A				Humidade (%): Calcário B				Humidade (%): Calcário C			
								1	4	7	Média (%)	2	5	8	Média (%)	3	6	9	Média (%)
IV 252	62,8	74,6	67,1	23	67	24	17,5	72,2	66,6	64,8	67,87	72	67,1	64,8	67,97	73,7	66,8	64,1	68,20
IV 271	77,5	86,8	82,8	23	72	23,6	18,2	83,8	82	77,9	81,23	84,7	84,1	78,8	82,53	84,3	82,8	77,6	81,57
IV 306	83,2	89,2	86,7	24	77	23,8	19,5	86,1	88,1	83,7	85,97	86,3	89	87,1	87,47	85,6	88	83,8	85,80
IV 363	79,6	83,8	81,7	24	69	24,8	18,7	80,7	82	80,9	81,20	80,3	82,5	83,3	82,03	80,3	81,4	81,9	81,20
IV 419	78	83,1	81,1	24	42	32,6	18	79,7	81,9	80,4	80,67	79,9	81,8	82,4	81,37	79,4	82,1	80,6	80,70
IV 618 (Imersão)	70,8	75,3	73,3	24	65	23,4	16,4	74,1	73	74,1	73,73	Não medido				73,9	73	73,7	73,53
IV 621 (Imersão)	70	74,9	73,2	24	65	23,4	16,4	74,6	73,5	73,5	73,50	73,20	74,90	74,80	74,30				

9.2.6. Efeito da radiação infravermelha no adobe “Aldeia Nova”

O ensaio de absorção capilar do adobe “Aldeia Nova”, iniciou-se no dia 17.06.2017, pelas 16:12 horas. Apresentam-se as zonas selecionadas nas amostras, cujos resultados estão compilados na tabela 87, consoante as várias condições climáticas, tendo sido igualmente selecionados os pontos M4, M5 e M6 na zona de transição entre as diferentes escalas de sensibilidade, sempre que aplicável, conforme observável pela figura 98.

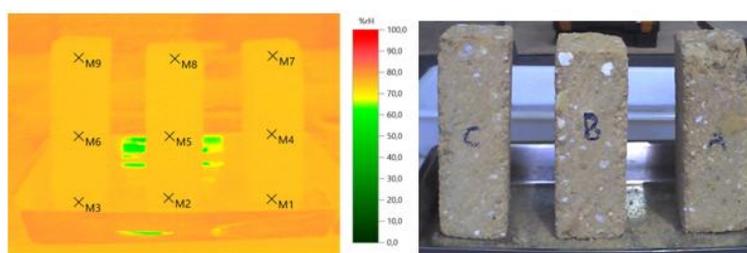


Figura 98 Esq.: imagem IV 270, antes do ensaio capilar. Dir.: imagem real IV 270, 17.06.2017, 13:53:13 h

A figura 99, demonstra o início do ensaio de absorção de água, com o correspondente termograma da fase intermédia.

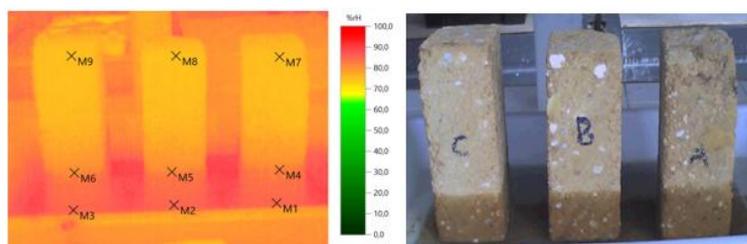
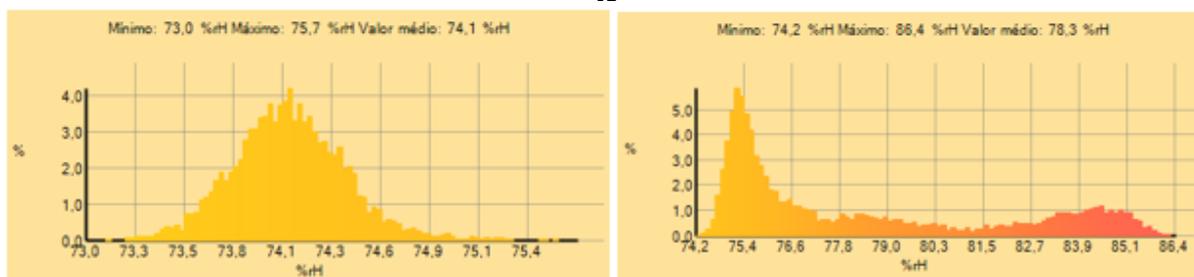


Figura 99 Esq.: imagem IV 272, fase intermédia de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 272, 17.06.2017; 18:35:32

O gráfico 67, apresenta os histogramas correspondentes à fase anterior e aquando a fase intermédia de absorção de água. Consta-se que o histograma da amostra que não possui qualquer contacto com água, revela um valor percentual de humidade alto, sendo influenciado pelo equilíbrio das condições ambientais exteriores, com humidade relativa de 72 %, pelo que terá havido um acréscimo de 3,7 %. Após contacto com água, constata-se que o histograma da imagem IV 272, revela um aumento ligeiro, sendo a humidade relativa nesse momento de 71 %, o que terá decorrido um acréscimo máximo de 15,40 %.

Gráfico 67 Esq.. histograma da imagem IV 270, amostra A. Dir.: histograma da imagem IV 272, amostra A



A figura 100, revela que a imagem real dos provetes de adobe, ainda não possuem água no topo das amostras, contudo pelo termograma esta situação não é detetável.

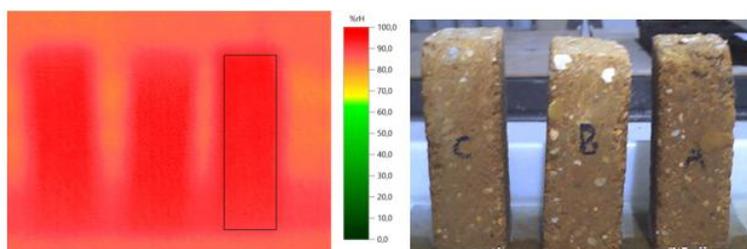


Figura 100 Esq.: marcação da superfície da amostra A na imagem IV 308, fase intermédia de absorção capilar. Dir.: imagem real IV 308 (não é visível a presença de água na superfície), 18.06.2017; 18:45:30

A imagem 101, apresenta a confirmação visual quanto ao alcance de água no topo das amostras e o correspondente termograma.

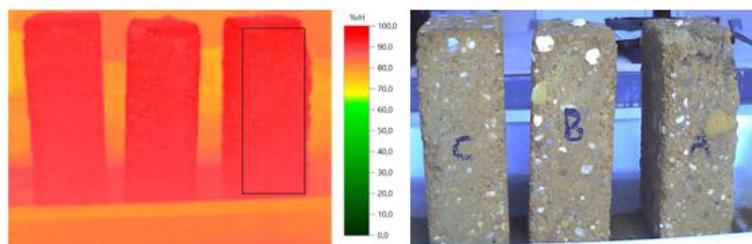
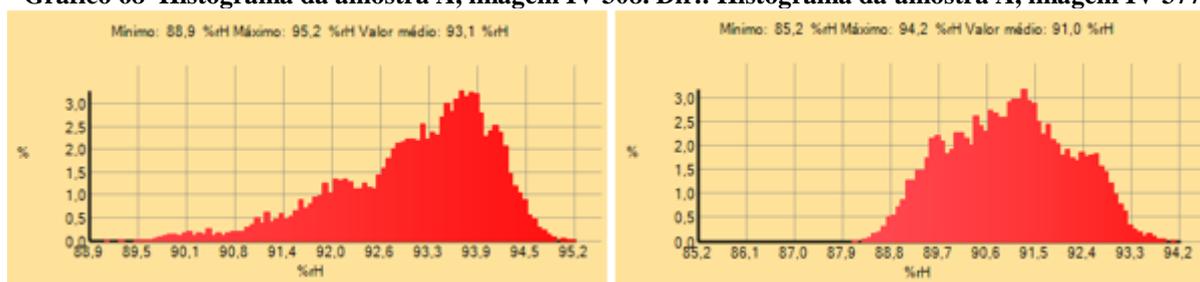


Figura 101 Esq.: marcação da superfície da amostra A na imagem IV 377. Dir. imagem real (água alcançou topo superior da amostra), imagem IV 377. 19.06.2017; 19:33:42 h

O gráfico 68, revela que o máximo teor de humidade foi alcançado, sendo superior nas condições de exposição da leitura do termograma IV 377, com um valor percentual máximo acumulado de 19,20 %, comparativamente aos 18,20 % de humidade acumulada da imagem IV 308, com superior tonalidade.

Gráfico 68 Histograma da amostra A, imagem IV 308. Dir.: Histograma da amostra A, imagem IV 377



- Efeito da radiação infravermelha no adobe “Aldeia Nova”, aquando a fase de saturação por absorção capilar e saturação por imersão

A figura 102, apresenta os provetes B e C, no estado de saturação por imersão parcial, enquanto a amostra A, representa a amostra imersa por um período de 24 horas.

Observa-se que face a uma exposição prolongada, ambas as amostras, tendem a reduzir a tonalidade e percentagem do teor de humidade superficial, comparativamente à amostra determinada no momento correspondente à fase da absorção por imersão parcial (IV 377).

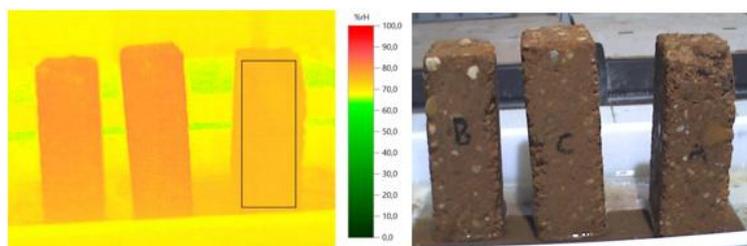
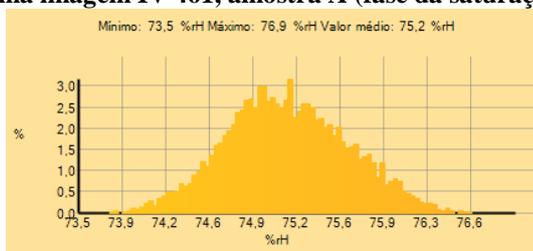


Figura 102 Esq.: marcação da superfície da amostra A (fase de saturação por imersão total) na imagem IV 461, sendo as amostras B e C no estado de saturação por imersão parcial. Dir: histograma IV 461, da amostra A, 20.06.2017; 21:49:22 h

O gráfico 69, apresenta a amostra A que esteve imersa, com uma cor de menor contraste, relativamente às amostras B e C e também redução do valor máximo percentual de humidade superficial, com o valor de 10,90 %. Ainda, comparativamente ao histograma no momento da absorção capilar, constata-se uma redução do valor de humidade.

Gráfico 69 histograma imagem IV 461, amostra A (fase da saturação por imersão total)



- Síntese dos resultados termográficos do adobe “Aldeia Nova”

A tabela 87, apresenta a informação compilada resultante da interpretação dos termogramas e histogramas, atendendo às diferentes condições ambientais observadas.

Tabela 87 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do adobe “Aldeia Nova”

N.º de Imagem Infravermelha	Histogramas do adobe A			Condições Ambientais				Elementos											
								Humidade (%): adobe A				Humidade (%): adobe B				Humidade (%): adobe C			
	Humidade Mínima (%)	Humidade Máxima (%)	Humidade Média (%)	Temp. Refletida (°C)	HR (%)	Temp Amb (°C)	Ponto de Orvalho (°C)	1	4	7	Média (%)	2	5	8	Média (%)	3	6	9	Média (%)
IV 270	73	75,7	74,1	23	72	23,6	18,2	74,5	73,9	74,1	74,17	74,9	73,6	73,7	74,07	74,2	74,5	74,8	74,50
IV 272	74,2	86,4	78,3	25	71	25,6	19,9	85,3	80,5	74,8	80,20	85,4	79,6	75,1	80,03	85,1	80,4	74,5	80,00
IV 308	88,9	95,2	93,1	24	77	23,8	19,5	89,1	93,9	91,9	91,63	91,4	93,4	90,5	91,77	90,1	93,3	92	91,80
IV 377	85,2	94,2	91	24	75	25	20,3	88,9	90,7	92,1	90,57	89,4	91	91,5	90,63	88	89,8	90,4	89,40
IV 461 (Imersão total)	73,5	76,9	75,2	24	66	25	18,2	74,7	75,3	75,4	75,13	75,80	78,10	77,80	77,23	76,20	78,30	78,40	77,63

9.2.7. Efeito da radiação infravermelha no adobe “Duarte Lemos”

A etapa de absorção capilar do adobe “Duarte Lemos”, iniciou-se no dia 18.06.2017, pelas 16:07 horas.

Apresentam-se as zonas seleccionadas na figura 103, cujos valores de teor de humidade se encontram resumidos na tabela 88, em função das distintas condições climáticas, tendo sido igualmente seleccionados os pontos M4, M5 e M6 na zona de transição entre as diferentes escalas de sensibilidade, quando exigível.

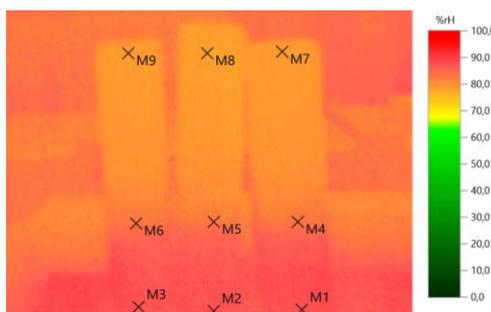


Figura 103 Termograma com identificação dos pontos isolados na face inferior, zona de transição entre escalas com diferente sensibilidade e face superior, imagem IV 311, 18.06.2017; 18:52:48 h

A figura 104, apresenta o termograma da fase intermédia da absorção de água do adobe.

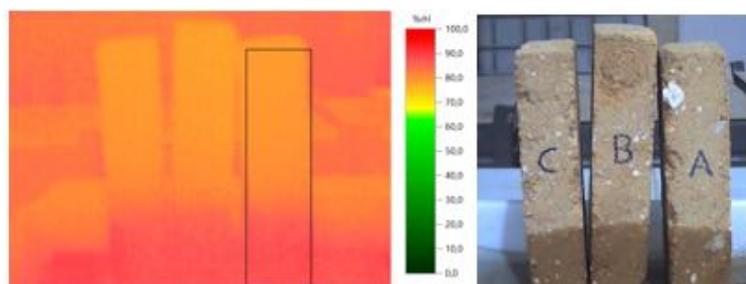


Figura 104 Esq.. imagem IV 311, fase intermédia. Dir.: imagem real IV 311, 18.06.2017; 18:52:48 h

A imagem 105, representa a amostra C que foi submetida a imersão total e as amostras B e C, que foram submetidas apenas à imersão parcial.

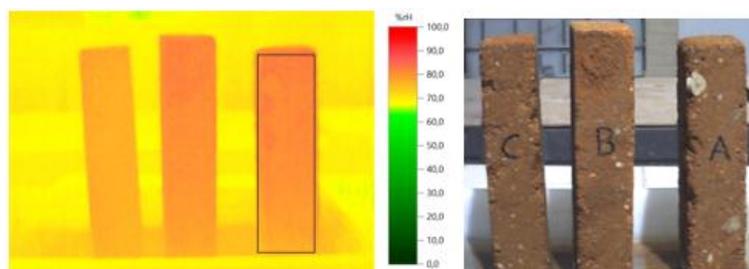
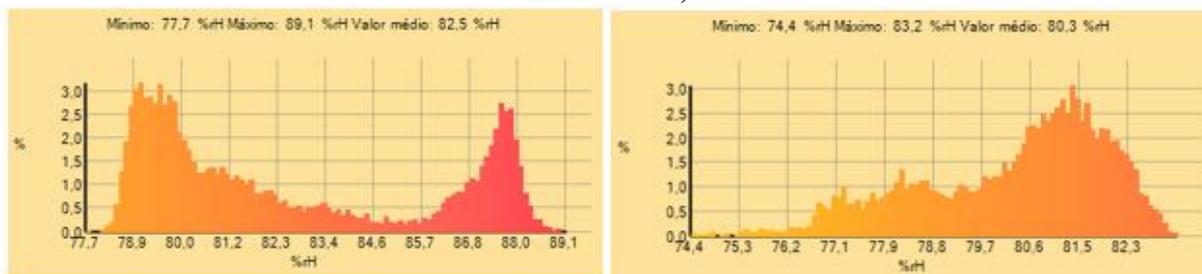


Figura 105 Esq.. imagem IV 454, com amostras A e B (fase de saturação por imersão parcial) e amostra C (fase de saturação por imersão total). Dir.: imagem real IV 454, 20.06.2017; 21:30:50 h

O gráfico 70, comprova que o histograma com maior valor percentual de humidade, pertence à amostra A (IV 311), que se encontrava ainda em fase intermédia de absorção de água,

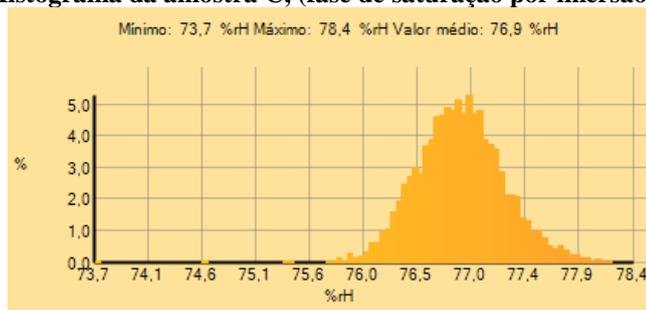
contudo através da diferença entre o teor percentual máximo de humidade superficial e a humidade relativa presenciada na recolha da leitura, a fase de absorção de água traduzida pela imagem IV 454 é a que representa o maior valor com 18,2 % respetivamente.

Gráfico 70 Esq.: imagem IV 311, amostra A (fase imersão parcial). Dir.: imagem IV 454, amostra A (fase imersão total)



O gráfico 71, refere-se ao histograma da amostra C, na fase de saturação por imersão total, sendo que apresenta o contraste mais reduzido, embora revele um histograma com uma distribuição simétrica perfeita. Por comparação com as condições ambientais, a imagem IV 311 representa o menor valor percentual de humidade com o valor de 12,10 %.

Gráfico 71 Histograma da amostra C, (fase de saturação por imersão total), IR 454



- Síntese dos resultados termográficos do adobe “Duarte Lemos”

Apresenta-se a informação compilada na tabela 88, resultante da interpretação dos termogramas e histogramas, atendendo às diferentes condições ambientais observadas.

Tabela 88 Síntese dos valores percentuais do teor de humidade superficial do adobe “Duarte Lemos”

N.º de Imagem Infravermelha	Histogramas do adobe DL A			Condições Ambientais				Elementos											
	Humidade Mínima (%)	Humidade Máxima (%)	Humidade Média (%)	Temp. Refletida (°C)	HR (%)	Temp Amb (°C)	Ponto de Orvalho (°C)	Humidade (%): Adobe DL A				Humidade (%): Adobe DL B				Humidade (%): Adobe DL C			
								1	4	7	Média (%)	2	5	8	Média (%)	3	6	9	Média (%)
IV 311	77,7	89,1	82,5	24	77	23,8	19,5	87,4	83,3	78,9	83,20	87,3	83,9	78,1	83,10	87,8	83,6	78,7	83,37
IV 454: amostra C (saturada por imersão) e amostra A (saturada por absorção capilar)	74,4	83,2	80,3	24	65	25,4	18,3	76,5	81,2	82,3	80,00	77,1	79,9	82,7	79,90	76,3	76,5	77,7	76,83

9.2.8. Termogramas dos materiais sujeitos às mesmas condições ambientais

Refere-se este subcapítulo essencialmente, à captação dos termogramas no interior da câmara climática, para avaliação dos materiais que estiveram imobilizados durante 48 horas numa estufa a 105 ° C. Neste ensaio, por forma a avaliar a fiabilidade do equipamento, resultaram diferentes valores de humidade relativa e temperatura nos distintos materiais.

Atendendo que todas as amostras se encontravam na estufa a 105 ° C, utilizou-se luvas de proteção no seu manuseamento individual. Apresentam-se leituras obtidas por duas vias, a referir; tendo como fundo de imagem uma cartolina preta que absorve mais a energia (figura 106) e outra leitura sem influência da cor escura (figura 107).

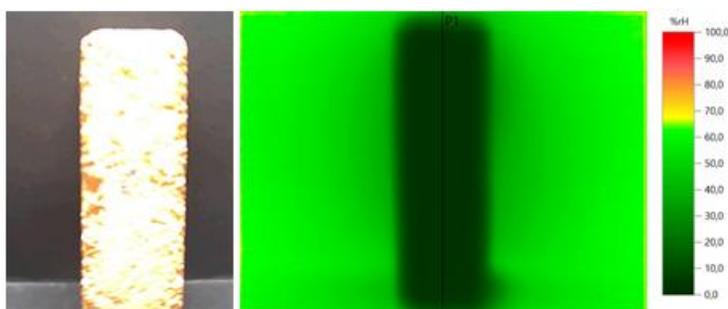


Figura 106 Esq.: imagem IV 721. Dir.: Leitura termográfica com o fundo da imagem a cor preto e marcação do histograma

Apresentam-se os histogramas de ganho de humidade dos vários materiais com fundo preto, gráficos 72, 73 e 74.

Gráfico 72 histograma humidade IV 720, Tijolo

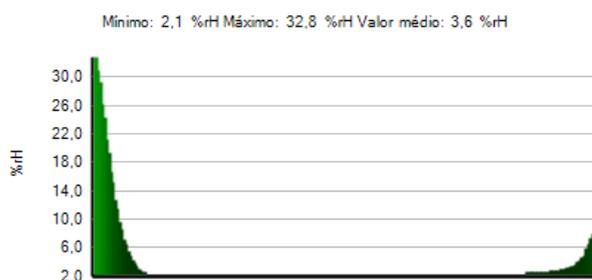


Gráfico 73 histograma humidade IV 715, Calcário

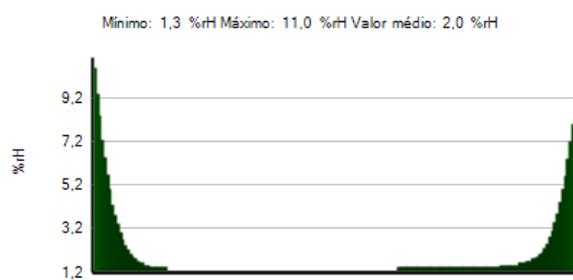


Gráfico 74 histograma humidade IV 721, Adobe

Mínimo: 1,6 %rH Máximo: 12,7 %rH Valor médio: 2,2 %rH



Apresenta-se a figura 107, com a leitura do termograma sem o fundo a preto.

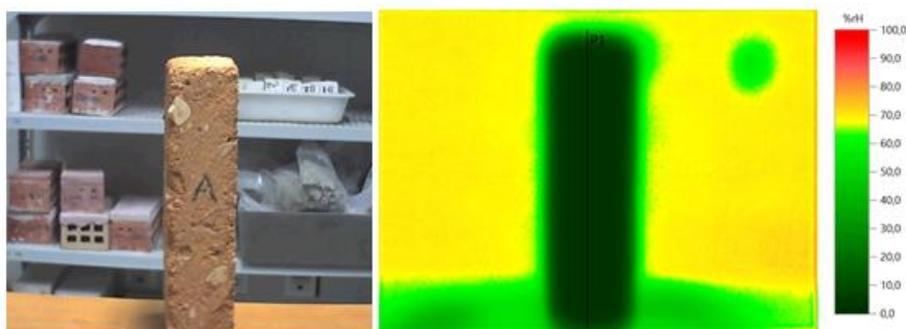


Figura 107 Esq.: imagem IV 722. Dir.: Leitura do termograma, sem fundo preto e marcação do histograma

Apresentam-se os histogramas de ganho de humidade dos vários materiais sem fundo preto, gráficos 75, 76 e 77.

Gráfico 75 histograma humidade IV 719, Tijolo

Mínimo: 2,1 %rH Máximo: 60,8 %rH Valor médio: 5,2 %rH



Gráfico 76 histograma humidade IV 716, Calcário

Mínimo: 1,4 %rH Máximo: 49,4 %rH Valor médio: 3,4 %rH

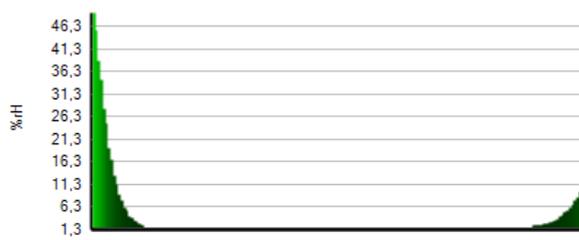
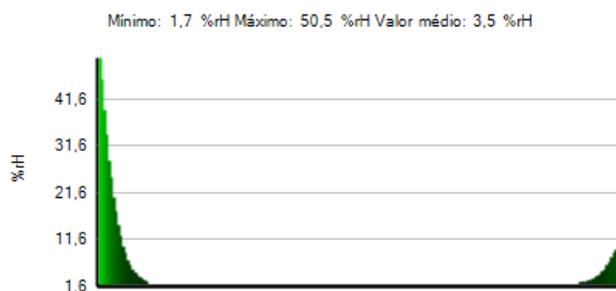


Gráfico 77 histograma humidade IV 722, Adobe



Apresenta-se a figura 108, com a leitura do termograma com o fundo a preto.

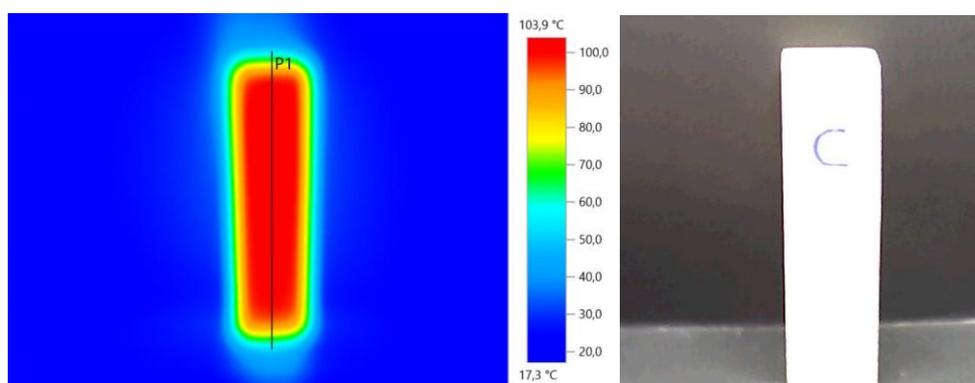


Figura 108 termograma temperatura IV 715, Calcário

Apresentam-se os histogramas de perda de calor, dos vários materiais com fundo preto, gráficos 78, 79 e 80.

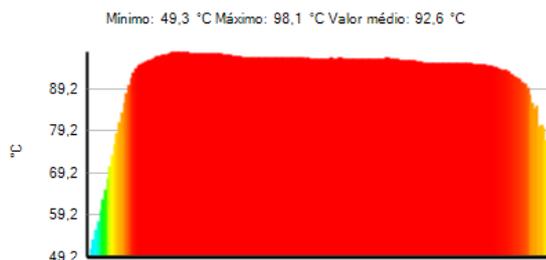
Gráfico 78 histograma temperatura IV 720, Tijolo



Gráfico 79 histograma temperatura IV 715, Calcário



Gráfico 80 histograma temperatura IV 721, Adobe



Apresenta-se a figura 109, com a leitura do termograma sem o fundo da imagem a preto

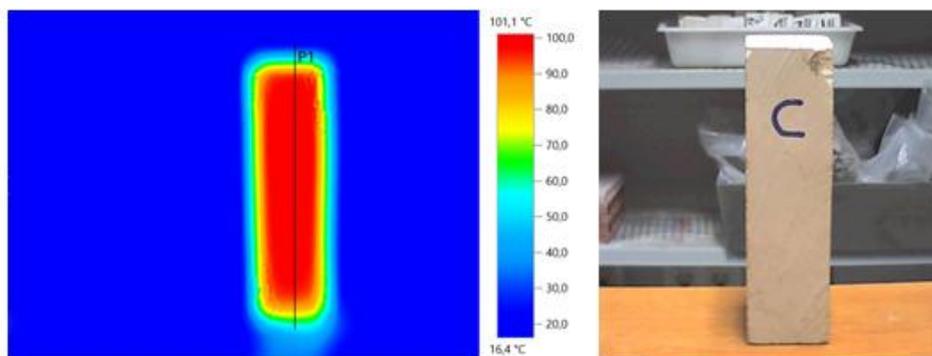


Figura 109 termograma temperatura IV 716, Calcário

Apresentam-se os histogramas de perda de calor dos vários materiais sem fundo preto, gráficos 81, 82 e 83.

Gráfico 81 histograma da temperatura IV 719, Tijolo



Gráfico 82 histograma da temperatura IV 716, Calcário

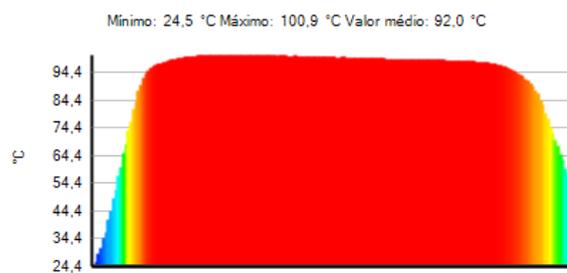


Gráfico 83 histograma da temperatura IV 722, Adobe



Constata-se através dos histogramas e tabela 89, que todos os materiais perderam naturalmente o calor após a sua remoção da estufa, pela seguinte ordem crescente, independentemente de ter sido aplicado o fundo da imagem preta; o tijolo, o adobe e o calcário.

Pela leitura dos termogramas obtidos, constatam-se que perante leituras com fundo preto, registam-se menores valores percentuais de humidade superficial, variando pela seguinte ordem crescente; o calcário, o adobe e o tijolo.

Tabela 89 Síntese das amostras no interior da câmara climática, após remoção da estufa a 105 ° C

Material	Fundo cartolina preta	Sem fundo a cartolina preta	HR Mín. (%)	HR Média (%)	Varição da HR Média (%), em relação à imagem com fundo preto	HR Máx. (%)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Média (°C)	Varição da Temp. Média (%), em relação ao fundo preto	Temp. Máx. (°C)
Tijolo	IV 720		2,10	3,60	-0,31	32,80	31,50	83,90	0,04	90,30
		IV 719	2,10	5,20		60,80	21,10	80,70		90,20
Calcário	IV 715		1,30	2,00	-0,41	11,00	52,20	96,90	0,05	103,90
		IV 716	1,40	3,40		49,40	24,50	92,00		100,90
Adobe	IV 721		1,60	2,20	-0,37	12,70	49,30	92,60	0,05	98,10
		IV 722	1,70	3,50		50,50	24,20	88,00		95,20

Das leituras percentuais obtidas para os teores de humidade e temperatura que constam da tabela 89, conclui-se que independentemente de se alterar ou não, o fundo negro da imagem termográfica, o seguinte:

- termogramas com a imagem com fundo a negro, permite obter menor valor percentual de humidade superficial, sendo para o tijolo (- 0,31 %), para o adobe (- 0,37 %) e para o calcário (- 0,41%), quando comparados com os resultados obtidos na imagens sem fundo negro;
- termogramas com a imagem com fundo a negro, permite obter maior valor percentual térmico, tendo-se registado ganho térmico para o tijolo (+ 0,04 %), o adobe (+ 0,05 %) e para o calcário (+ 0,05 %), quando comparados com os resultados obtidos na imagem sem fundo negro;

Pela análise dos histogramas, verifica-se que apesar de ter sido necessário o manuseamento das amostras com luvas de proteção térmica, a câmara termográfica detetou valores percentuais de humidade, cenário pouco provável, independentemente de possuir ou não o fundo da imagem a preto, uma vez que a imagem refletida possui cor preta. Assim, a escala de sensibilidade preta, está referenciada pelo fabricante como zero, o que demonstra que as imagens pretas colhidas em representação da humidade, traduzem não ter vestígios de humidade.

- Termogramas resultantes dos materiais, após longa exposição na câmara climática

Após a remoção das amostras do interior da estufa a 105 ° C, as mesmas foram imobilizadas durante 48 horas no interior da câmara climática, tendo sido obtidos termogramas para cada amostra. Aproveitou-se para se monitorizar as condições ambientais existentes, que condicionavam a identificação das amostras, tendo-se registado um valor médio de 70,7 % de humidade do ar, 20 ° C de temperatura no interior da câmara, 20 ° C de temperatura refletida, 65 % de humidade relativa e 13,2 ° C de ponto de orvalho.

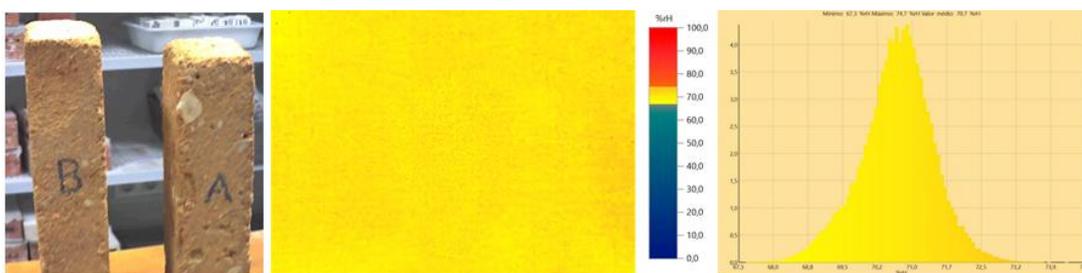


Figura 110 Esq.: Real IV 710. Centro: termograma das amostras IV 710. Direita: histograma IV 710 da amostra A “duarte lemos”, que estiveram imobilizadas 48 horas no interior da câmara climática, após remoção da estufa a 105 ° C, 2.11.2017

Constatou-se através dos termogramas (figura 110), a impossibilidade de reconhecer as amostras que se encontravam em pleno equilíbrio para as condições ambientais presentes no interior da câmara climática. Pelo que se conclui, que a superfície tem de apresentar uma temperatura diferente do meio em que se encontra inserido de modo a realçar a sua localização. Atendendo que as amostras no interior da câmara climática, mantinham-se às mesma temperatura e humidade, não é exequível a obtenção de imagens, pelo que as mesmas terão de ser posicionadas no exterior, para ser realçado a eventual presença de humidade. As amostras continuaram no interior da câmara climática até ao dia 24.11.2017, tendo sido nessa data recolhidas leituras, fora da câmara climática (figura 111), por forma a ser exequível visualizar por contraste, eventual ganho de humidade nos diferentes materiais, com certeza, porém que uma fissura ou a porosidade superficial dos materiais influenciará os resultados finais. Na ausência das condições anteriores poderia ser aplicado uma fonte de energia artificial; calor ou de frio na superfície, com diferentes taxas e temperaturas de modo a obter termogramas (termografia ativa).

A energia absorvida pelo equipamento termográfico, foi avaliada para as condições externas com exposição prolongada, com uma temperatura ambiente de 20 ° C e 65 % de humidade

relativa, tendo em conta a emissividade de cada um dos materiais, resultado os histogramas que constam nos gráficos 84 e 85.

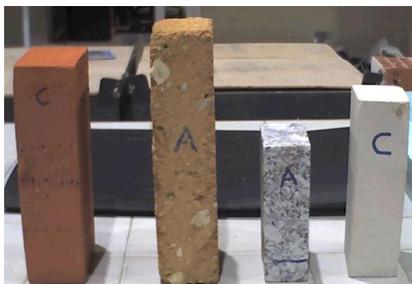


Figura 111 Amostras de material que estiveram imobilizadas no interior da câmara climática, até dia 24.11.2017

Pela análise da cor dos gráficos 84 e 85, permite concluir, que as amostras não possuem humidade superficial, contudo é apresentado nos histogramas valores médios percentuais de humidade, compreendidos entre 60,9 % e 61 %, sendo contudo valores inferiores à humidade relativa presenciada no ambiente, cujas amostras estiveram expostas. Facilmente, se depreende que não houve ganhos de humidade superficial nas amostras.

Gráfico 84 Esq.. histograma tijolo, amostra C, IV 739. Dir.: histograma adobe “duarte lemos”, amostra A, IV 739, que estiveram imobilizadas no interior da câmara climática até 24.11.2017

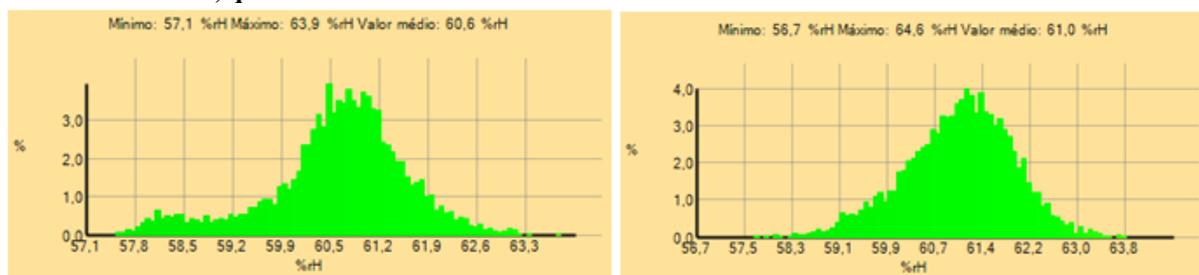
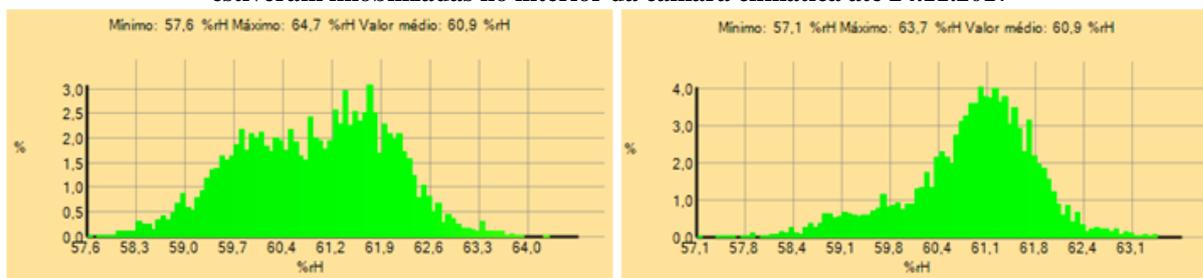


Gráfico 85 Esq.. histograma granito, amostra A, IV 739. Dir.: histograma calcário, amostra C, IV 739, que estiveram imobilizadas no interior da câmara climática até 24.11.2017



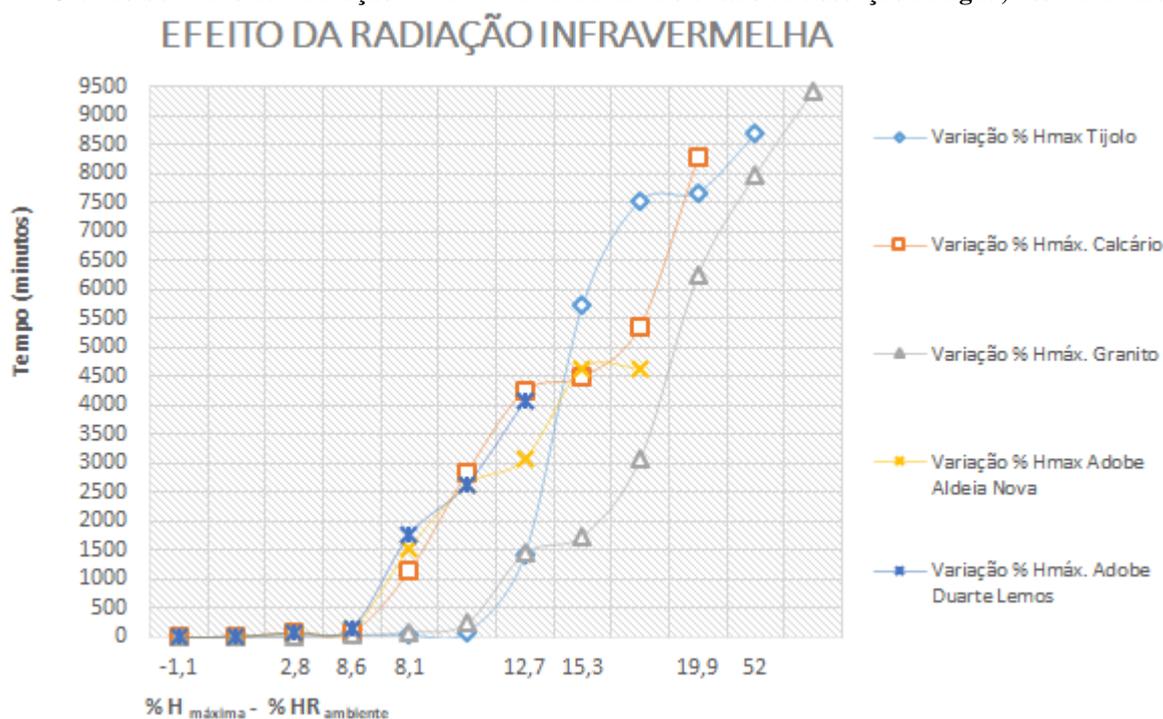
Conclui-se que a cor da escala de sensibilidade é a mais baixa de todos os termogramas realizados, o que indicia não ter qualquer teor percentual de humidade. Ainda, de todos os materiais, o histograma do adobe é o que revela ter melhor simetria.

9.2.9. Conclusão das leituras termográficas obtidas

Durante o ensaio de absorção de água, foi possível monitorizar com a câmara termográfica o ensaio, tendo sido determinados para os mesmos tempos seleccionados, os teores volúmicos acumulados de água nos materiais que constam no Anexo A4.

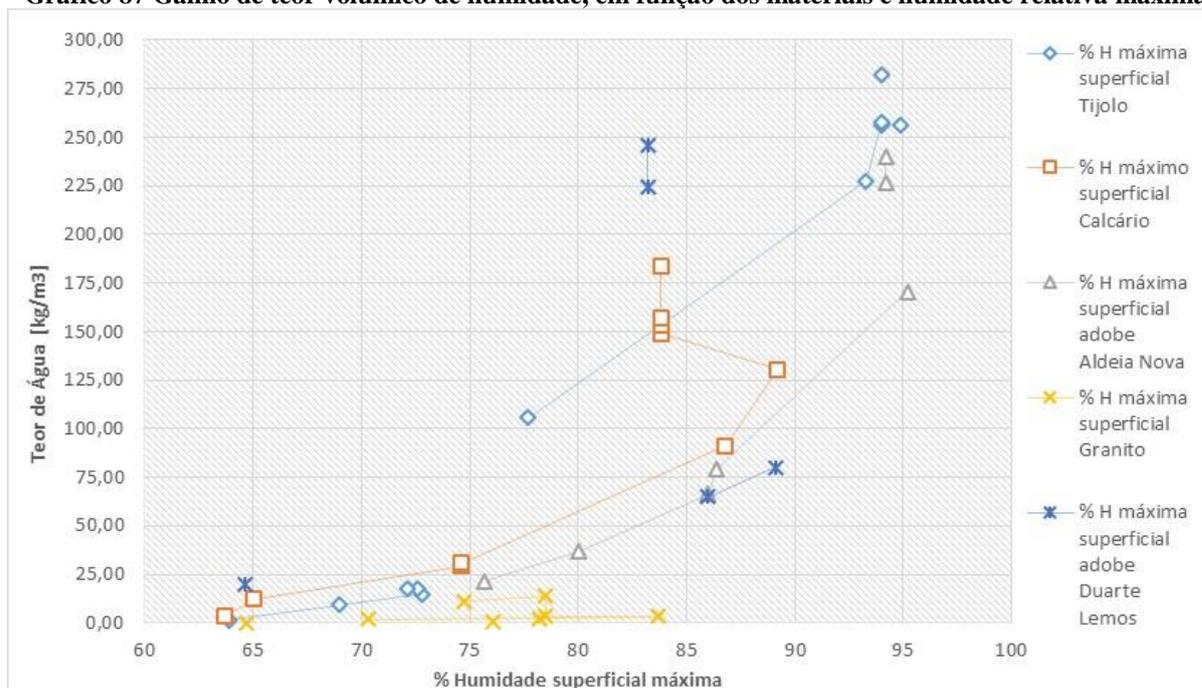
Apresenta-se o efeito da radiação infravermelha para os materiais, conforme gráfico 86 até fase saturação por imersão, exceto para o adobe.

Gráfico 86 Efeito da Radiação Infravermelha durante o ensaio de absorção de água, dos materiais



O gráfico 87, relaciona o teor volúmico de água acumulado nas distintas amostras, em função dos correspondentes teores de humidade superficial máxima, obtido com a câmara termográfica.

As curvas higroscópicas têm um efeito S, exceto o granito, com destaque para as duas zonas que caracterizam a acumulação de água nos materiais higroscópicos, nomeadamente; a zona multimolecular correspondente à fase de adsorção de água por condensação capilar a partir dos 63,7 % de humidade e a fase da supersaturação, correspondente à saturação por imersão total (troço vertical). Em regra, quando os materiais são colocados num ambiente em que a humidade relativa varia, o seu teor de humidade também varia.

Gráfico 87 Ganho de teor volúmico de humidade, em função dos materiais e humidade relativa máxima

Apresentam-se os resultados dos termogramas selecionados, que se encontram mais próximos à etapa correspondente à fase de absorção capilar, com o teor volúmico de água calculado laboratorialmente, a referir;

- o tijolo com a imagem IV 370, que possui leitura do teor de humidade percentual máximo de 94,9 %, perante a temperatura ambiente de 25 ° C e 75 % de humidade relativa, com um teor volúmico de água acumulada, correspondente a 256,11 kg/m³.
- o calcário com a imagem IV 306, que possui leitura do teor de humidade percentual máximo de 83,8 %, perante a temperatura ambiente de 24,8 ° C e 69 % de humidade relativa, com um teor volúmico de água acumulada, correspondente a 125,60 kg/m³.
- o granito com a imagem IV 267, que possui leitura do teor de humidade percentual máximo de 83,7 %, perante a temperatura ambiente de 23,6 ° C e 72 % de humidade relativa, com um teor volúmico de água acumulada, correspondente a 2,83 kg/m³,
- o adobe “Aldeia Nova” com a imagem IV 377, que possui leitura do teor de humidade percentual máximo de 94,2 %, perante a temperatura ambiente de 25 ° C e 75 % de humidade relativa, com um teor volúmico de água acumulada, correspondente a 226,87 kg/m³.
- o adobe “Duarte Lemos” com a imagem IV 454, que possui leitura do teor de humidade percentual máximo de 83,2 %, perante a temperatura ambiente de 25,4 ° C e

65 % de humidade relativa, com um teor volúmico de água acumulada, correspondente a 220,89 kg/m³.

De salientar, que para a mesma fase de absorção capilar, o granito apresenta o menor valor de teor acumulado de água correspondente a 2,83 kg/m³, sendo que por comparação com o calcário, este apresenta um acréscimo de mais 44,38 %, contudo, ambos apresentam valores percentuais máximos de humidade muito aproximados, o que significa, que as leituras da câmara termográfica não são comparáveis por si só, porque a reflectância dos distintos materiais são diferentes e estão dependentes das condições ambientais.

Por comparação das amostras de adobe “Aldeia Nova” com as amostras de adobe “Duarte Lemos”, constata-se que os valores percentuais de humidade máxima diferem, assim como o peso volúmico do teor de humidade de ambos, pelo que não é possível comparar as leituras termográficas, entre si. Independentemente da variação da humidade relativa ao longo do ensaio de absorção de água, foi possível determinar a curva de absorção de água e o efeito S das propriedades higricas dos materiais higroscópicos.

O comportamento da humidade nos distintos materiais absorvem e conduzem de forma diferente a humidade, adquirindo teores de humidade diferentes quando submetidos a uma mesma solicitação húmida. E relativamente ao comportamento do calor é semelhante, por isso é necessária a existência de mais termogramas para diferentes condições de serviço nos diferentes revestimentos.

O fator principal que afeta a medição percentual da humidade, são as variações das condições climáticas (temperatura e humidade relativa), contudo, considero que foram asseguradas as condições ideais por forma a obter os resultados apresentados, que permitam uma avaliação quantitativa e qualitativa ao ensaio realizado.

Ao nível das inspeções com câmara termográficas, esta metodologia é frequentemente utilizada na inspeção de edificações, entre outras; tais como respostas a quesitos de processos judiciais, em que normalmente os Tribunais solicitam análises qualitativas e quantitativas. As suas leituras termográficas possibilitarão a visualização, confirmação e interpretação do observado em obra, pelo que respondem com maior rigor técnico ao quesito.

Verificou-se que a maneira como a energia é refletida, depende da rugosidade da superfície dos materiais de construção, pois superfícies planas, refletem como se fossem espelhos, já materiais com superfícies rugosas refletem uniformemente em todas as direções.

Ainda foi possível, comprovar que através de um corpo rodeado de outros corpos a diferentes temperaturas, maiores do que a do corpo em análise, que o parâmetro relacionado com a energia emitida, em função da percentagem de humidade e emissividade, é afetado o

resultado, devido à reflexão por parte do material, da radiação incidente emitida pelos materiais na envolvente.

Ainda, através do ensaio laboratorial realizado às amostras extraídas da estufa a 105 ° C, foi possível verificar que a cor da superfície embora não afete a emissividade, tem maior influência quando as diferenças de temperaturas são mais acentuadas, isto é, os termogramas de um material quente aquando cor do fundo é preto, permite obter maior ganho térmico e ainda menor absorção percentual de humidade superficial.

Conclui-se que nas várias fases de absorção de água, os histogramas apresentam simetria perfeita, variando a tonalidade da cor em função da escala de sensibilidade definida pelo fabricante da câmara termográfica, sendo um equipamento fiável na análise dos resultados contudo deve ser comparado com as condições ambientais aplicáveis.

9.3. Ensaio com o Equipamento Multiespectral “XpeCAM X01”

9.3.1. Equipamento multiespectral XpeCAM X01

O equipamento utilizado neste trabalho foi o Xpe-CAM X01, que com o software, proporciona uma avançada ferramenta multiespectral e uma importante ferramenta de diagnóstico e controlo de qualidade. Esta tecnologia analítica, permite certificar o trabalho com recurso às imagens capturadas.



Figura 112 Equipamento multiespectral marca Xpe-CAM X01, Xpectraltek

Os principais elementos deste sistema de imagem multiespectral incluem um sensor ótico, filtros, uma objetiva e vários componentes eletrónicos, (figura 112). Neste sistema são utilizados 30 filtros bandpass. A Tabela 90 contém a lista de filtros disponibilizados, com o seu comprimento de onda associado, e largura de banda. Os comprimentos de onda da radiação eletromagnética podem ser pequenos, sendo neste caso medido em sub-unidade, como é o caso do nanómetro ($1\text{nm} = 0.000000001\text{ m}$).

Com este equipamento multiespectral, é possível visualizar e obter imagens de um determinado objeto em 30 faixas do espectro distintas, desde 350 nm e 1200 nm e gravar as imagens para uma análise mais cuidada. Após a aquisição das imagens, estas são analisadas,

com recurso ao software “XpecEye”, que consiste na normalização de luz e no registo de imagens.

Tabela 90 Lista de filtros do sistema XpeCAM x01 e respetivos comprimentos de onda e largura de banda.

UV		650	25
350	10	675	25
360	10	700	25
370	10	INFRA-VERMELHOS	
380	10	750	25
390	10	800	25
VISÍVEL		850	25
400	25	900	25
425	25	950	25
450	25	1000	25
475	25	1050	25
500	25	1100	25
525	25	1150	25
550	25	1200	25
575	25	OUTRO	
600	25	400 - 700	300
625	25	350 - 400	50

unidades - nm

9.3.2. Vantagens e desvantagens do equipamento multiespectral

Equipamento leve, com design esférico, que permite manusear e transportar com facilidade. Software intuitivo que permite ao utilizador adquirir imagens multiespectrais para análise posterior.

As imagens multiespectrais, possuem inúmeras aplicações, a referir, [79]:

- Para a banda 1 (0,45 a 0,52 μm) é usada para cartografar águas costeiras e para diferenciar o solo da vegetação e distinguir as florestas constituídas por árvores de folha caduca das de folha persistente.
- Para a banda 2 (0,52 a 0,60 μm) permite medir o máximo de refletividade do verde da vegetação de modo a poder ser averiguado o seu estado sanitário.
- Para a banda 3 (0,63 a 0,69 μm) banda de absorção da clorofila que permite diferenciar os diferentes tipos de vegetação.
- Para a banda 4 (0,76 a 0,90 μm) permite determinar o conteúdo de biomassa e delinear os corpos de água.
- Para a banda 5 (1,55 a 1,75 μm) indicadora do conteúdo de humidade do solo e da vegetação, é também utilizada para diferenciar neve das nuvens.

- Para banda 6 (10,4 a 12,5 μm) banda utilizada para analisar problemas de poluição de água, determinar o índice de humidade dos solos e fazer cartografia térmica.
- Para a banda 7 (2,00 a 2,35 μm) usada para diferenciar diferentes tipos de rochas para a cartografia hidrotérmica.

O equipamento multiespectral é inovador, embora com um custo de investimento inicial alto, embora com potencialidades reconhecidas a nível internacional, quer no que diz respeito à sua utilização para efeitos de controlos de linhas de produção, como monitorização em diversas indústrias. O tratamento das imagens, é outra potencialidade, pois permitem visualizar imagens, para além do visível.

9.3.3. Metodologia de ensaio com equipamento multiespectral

A meta principal deste ensaio com recurso ao equipamento multiespectral, é determinar a assinatura espectral de um dos materiais de construção ensaiados, tendo sido escolhido o tijolo, bem como a sua assinatura espectral aquando na presença de humidade. Ainda, com este ensaio, pretende-se analisar a potencialidade desta metodologia, quanto à avaliação quer qualitativa e quantitativa, na deteção de danos por humidade, nos revestimentos superficiais. Serve o presente, para apresentar o procedimento de ensaio de absorção de água realizado à amostra de tijolo A, tendo sido realizada, numa fase posterior ao ensaio laboratorial.

O método consiste unicamente no levantamento de leituras de imagens multiespectrais, para os comprimentos de onda, compreendidos entre 350 nm a 1200 nm. As leituras foram obtidas em 3 fases distintas, a referir numa etapa inicial antes de iniciar o ensaio de absorção de água, numa fase intermédia do ensaio, e na etapa final aquando era visível a presença de água aos 10 cm de altura.

Em todas as fases, foram realizadas leituras nos sete elementos isolados da face do tijolo, posicionados aos 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm, 10 cm, 15 cm, 17,5 cm e 20 cm, a contar da base inferior do mesmo.

9.3.4. Resultados do ensaio com equipamento multiespectral

Após levantamento das leituras multiespectrais, foram tratados os resultados parciais obtidos, que são expostos no anexo A5.

Da análise aos mesmos, resultam as assinaturas espectrais para as distintas fases do ensaio de absorção de água. A refletância de um determinado objeto é distinta, em função de cada tipo

de radiação que o atinge, sendo possível conhecer a assinatura espectral do tijolo quer de forma natural ou aquando exposto à água.

As curvas espectrais dos gráficos 87, 88 e 89, demonstram como varia a refletância do tijolo para cada comprimento de onda, em função das propriedades do material.

Gráfico 88 Assinatura espectral, fase inicial

Tijolo: Amostra A, Fase inicial

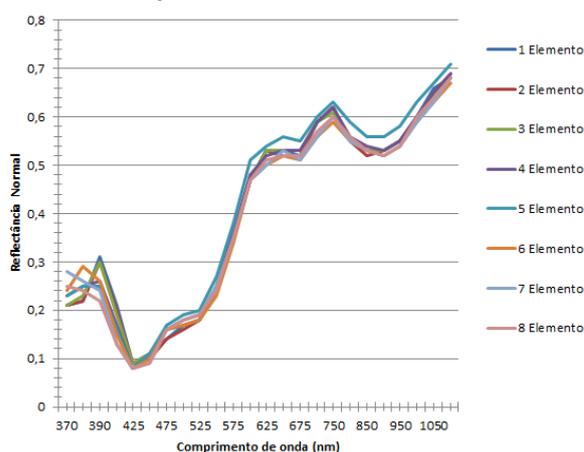
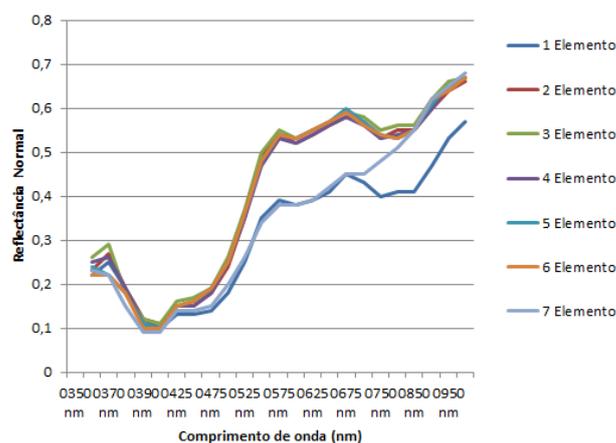


Gráfico 89 Assinatura espectral, fase intermédia

Tijolo: Amostra A, Fase intermédia

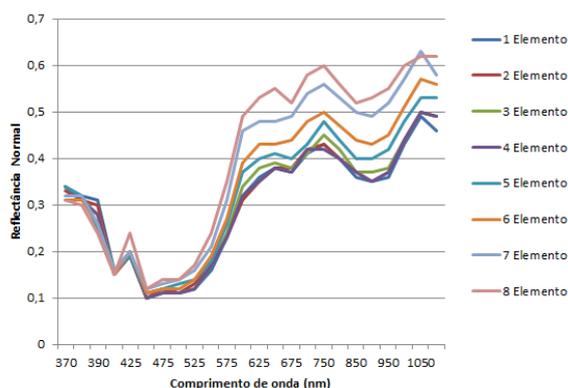


O gráfico 87, apresenta a assinatura espectral do tijolo aquando a fase anterior ao ensaio de absorção de água e o gráfico 88 apresenta a assinatura espectral do tijolo, na fase de absorção de água. Comparando os gráficos, permite observar, que com o contacto com a água a refletância tende a diminuir para os mesmos comprimentos de onda

O gráfico 89, demonstra a assinatura espectral correspondente à fase intermédia de absorção de água do tijolo, em que a água alcança visivelmente o ponto isolado intermédio dos 10 cm, constatando-se que a refletância continua a diminuir com a exposição prolongada de água no tijolo.

Gráfico 90 Assinatura espectral, fase final

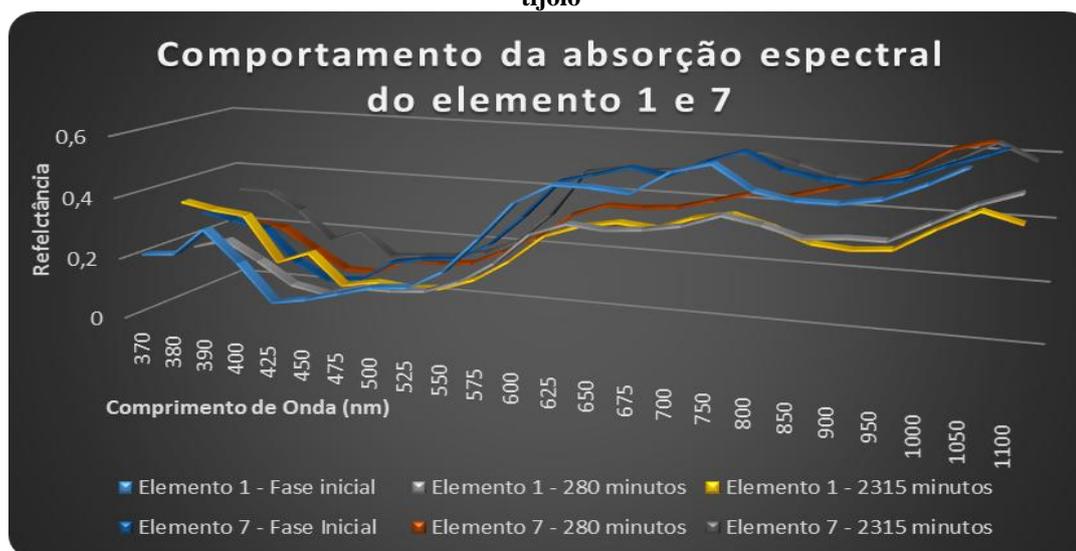
Tijolo: Amostra A, Fase final



O gráfico 89, permite concluir que as assinaturas espectrais dos distintos elementos 1,2,3 e 4, tendem a evoluir para uma assinatura espectral com uma curva característica do tijolo

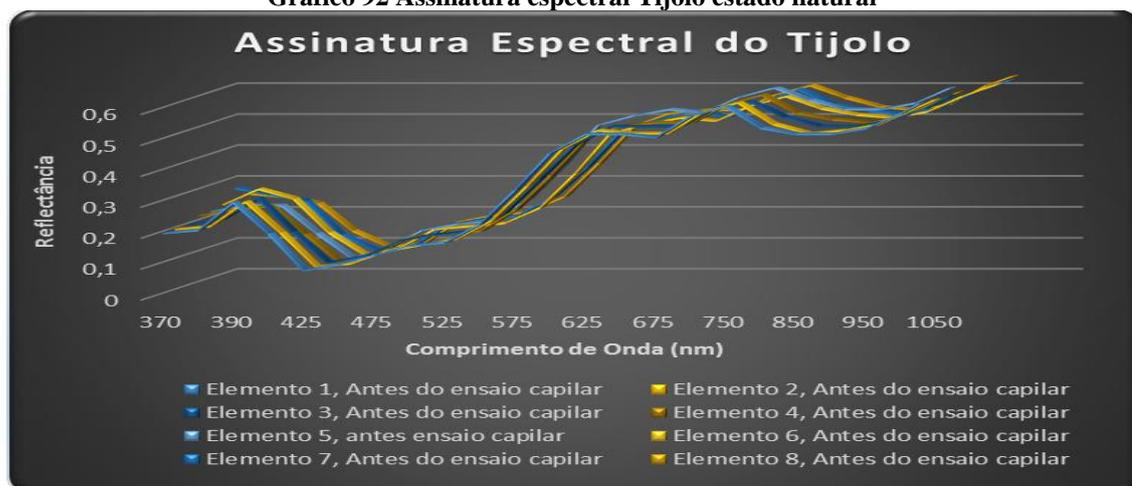
saturado com água. Por forma a permitir uma melhor análise do mesmo, apresenta-se o gráfico 90, com as assinaturas espectrais de apenas dois pontos isolados, o elemento 1 e 7, para as três fases do ensaio de absorção de água. Compara-se que o elemento 1 e 7, aquando a fase anterior ao ensaio de absorção de água, são semelhantes e caracterizam a assinatura espectral do tijolo no seu estado natural. Por outro lado, os elementos 1 na fase dos 2315 minutos de exposição com água, indica a assinatura espectral do tijolo na presença de humidade, contudo não é possível quantificar em termos de percentagem de humidade superficial, atendendo que o ensaio não foi finalizado até obter a saturação por absorção capilar. Contudo, apercebe-se que para cada patamar de absorção de humidade, existem distintas assinaturas espectrais. O que revela, que se for possível correlacionar as distintas percentagens de humidade com as correspondentes assinaturas espectrais, uma forte potencialidade quanto ao uso deste equipamento na deteção de humidades.

Gráfico 91 Analise espectral, nos pontos isolados 1 e 7, para as três fases do ensaio de absorção de água do tijolo



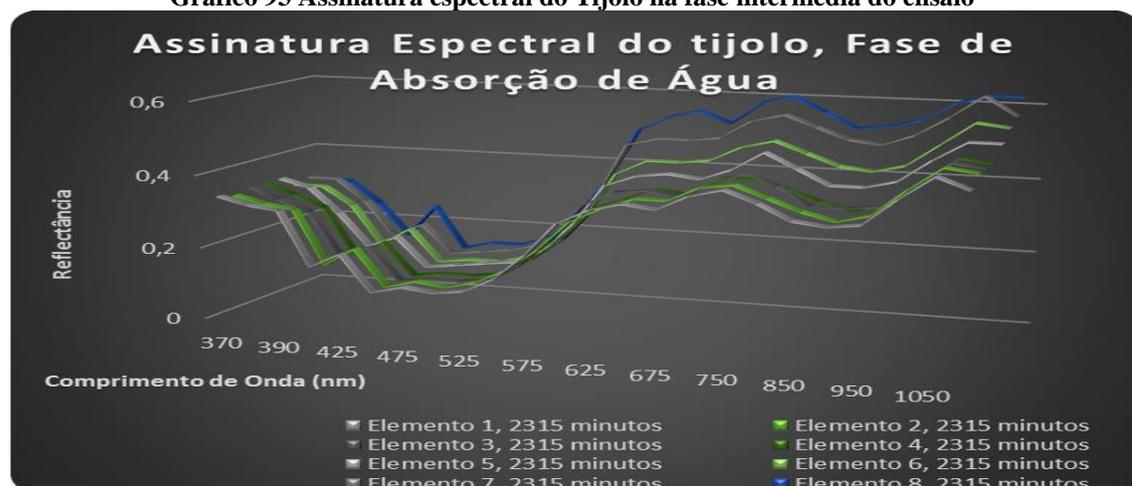
Por comparação das assinaturas espectrais correspondentes à fase inicial, intermédia e final do ensaio de absorção capilar, conclui-se que perante a presença de água, a refletância diminuiu. Aquando o ensaio, foi ainda possível recolher em todos os elementos, as assinaturas espectrais do tijolo aquando a fase anterior ao ensaio de absorção de água.

Gráfico 92 Assinatura espectral Tijolo estado natural



O gráfico 92, apresenta as assinaturas espectrais do tijolo lidos em todos os pontos isolados, correspondente à etapa final do ensaio de absorção de água.

Gráfico 93 Assinatura espectral do Tijolo na fase intermédia do ensaio



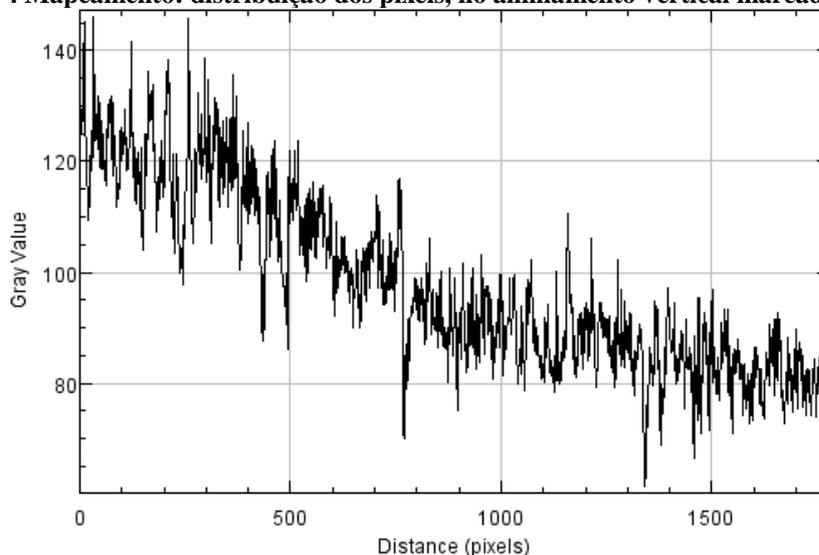
Dado que não foram obtidas leituras multiespectrais na fase final do ensaio por absorção capilar, não é possível confirmar a assinatura espectral do tijolo no estado saturado. Neste estudo, detetou-se uma maior variação de intensidade aquando a presença de humidade para o comprimento de onda dos 750 nm, o contrário para o comprimento de onda dos 400 nm, em que não se visualiza água. Numa fase posterior, a Xpectraltek com recurso ao programa “Fiji – ImageJ”, procedeu à divisão leitura dos 750 nm pela imagem dos 400 nm, tendo procedido ao ajustamento dos parâmetros de brilho e contraste das duas bandas, permitindo obter a imagem na figura 113.



Figura 113 Imagem resultante do contraste das bandas de 750 nm por 450 nm. Fonte: Xpectraltek

Com esta imagem, será possível avaliar a variação espectral da circulação de água sobre a amostra de tijolo, tendo para o efeito sido obtida uma leitura correspondente à distribuição dos níveis de pixels, isto é a intensidade ao longo do eixo vertical do tijolo.

Gráfico 94 Mapeamento: distribuição dos pixels, no alinhamento vertical marcado no Bloco



Constata-se que o gráfico 93 traduz um declive acentuado, o que revela a presença de humidade presente ao longo do bloco, correspondente à diferença entre a parte seca e a parte molhada do tijolo. A etapa final consistiu em converter o mapeamento para uma imagem RGB (figura 114), que mostra as várias cores presentes na imagem, com a escala de sensibilidade amarela que manifesta a presença de humidade.

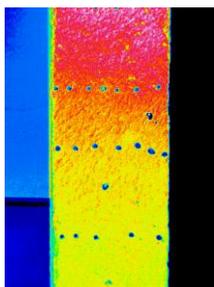


Figura 114 Imagem RGB, amostra tijolo fase final

9.3.5. Conclusão dos resultados obtidos com equipamento multiespectral

Neste ensaio procedeu-se ao tratamento da assinatura espectral do tijolo no estado natural e aquando o ensaio de absorção de água, bem como o tratamento de toda a informação gráfica transferida em termos de representação para imagem RGB, o que revela ser um método adequado para avaliação qualitativa, perante a identificação do contraste de humidade. Ainda o método, revela que a assinatura espectral do tijolo varia com a quantidade de água presente nos poros, sendo possível, para um dado material saturado, estabelecer uma correlação entre estas duas grandezas.

Contudo, no âmbito deste ensaio não foi feita uma avaliação quantitativa do método, deixando para um próximo trabalho a determinação da humidade superficial, correlacionando as assinaturas espectrais obtidos, por forma a avaliar a quantificação da humidade nos distintos materiais.

10. CONCLUSÃO

Nesta dissertação, foi determinado laboratorialmente o coeficiente de absorção de água para distintos materiais, considerando o declive do troço até à estabilização da massa por absorção capilar, considerando o declive da linha de melhor tendência, o declive até ao tempo específico dos 90 minutos e através da metodologia AFNOR. Das metodologias referidas, mantêm-se a seguinte ordem decrescente do coeficiente de capilaridade nos materiais; o adobe “Duarte Lemos”, o adobe “Aldeia Nova”, o tijolo, o calcário e por fim o granito. As amostras de adobe que têm uma maior velocidade de absorção, foram os materiais com menor tempo de avanço na frente húmida, contrariamente ao tijolo que tem uma menor velocidade de absorção e que conseqüentemente possui um maior tempo de avanço na frente húmida. Já o granito, revela ser um material impermeável, com valor de coeficiente de capilaridade praticamente nulo. Foi possível constatar que, com o aumento da porosidade dos materiais, aumentou o coeficiente de capilaridade.

Os ensaios não destrutivos realizados com o humidímetro com recurso a registos fotográficos ou câmara termográfica ou equipamento multiespectral permitem recolher resultados quantitativos e qualitativos, embora com parâmetros distintos que não são comparáveis entre si.

Os ensaios não destrutivos com recurso a câmara termográfica através do efeito da radiação infravermelha permitem identificar presença de humidade crítica a partir de uma escala de sensibilidade a partir dos 65 %. Por outro lado, o equipamento multiespectral através da assinatura espectral permite detetar facilmente a presença de humidade num comprimento de onda dos 750 nm. Ambos os ensaios não destrutivos permitem identificar a fase do ciclo de absorção de água presente no exato instante da inspeção, sendo inclusive mais eficazes que o humidímetro. Perante inspeções de revestimentos de habitações, é fundamental o levantamento de termogramas com efeito da radiação infravermelha ou recolha das assinaturas espectrais, a fim de atestar o estado do revestimento nesse exato momento.

O ensaio laboratorial não substitui os ensaios não destrutivos, nem vice-versa, mas complementam-se. Atendendo que os revestimentos envelhecem, perante condições ambientais mais severas e condicionantes, o ensaio não destrutivo permite atestar quantitativamente e qualitativamente o estado do material, no momento preciso da avaliação.

A leitura do manual de instruções do fabricante e a componente experimental tida com o equipamento termográfico, permitiu identificar os parâmetros em jogo, evidenciando através

dos termogramas os resultados da inspeção. Através das recolha de leituras com a câmara termográfica ao paramento do monumento nacional, Igreja da Trofa, foi possível analisar o caso estudo, tendo sido identificada a origem do dano por humidade ascensional, em virtude dos valores percentuais de humidade críticos se posicionarem acima dos 65 %, ao longo da altura do paramento e superiores à humidade relativa presenciada no local.

Ainda, consegue-se perceber por comparação de termogramas em distintos períodos ou assinaturas espectrais, qual é o estado do ciclo de absorção de água perante o efeito da radiação infravermelha.

Por último, foi possível produzir a imagem RGB, em que se deteta a presença de humidade na amostra.

Como desenvolvimento futuro, seria útil uma compilação de registos, referente aos revestimentos normalizados avaliados durante o seu período de vida útil com diferentes condições reais de exposição de edificações, aplicando diferentes técnicas de diagnóstico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Grinzato, P.G. Bison, S. Marinetti et al, (2002). Monitorização de edifícios pelo método térmico.
- [2] C. A. Balaras, A. A. Argiriou, (2001). Uso da técnica da termografia infravermelha nos diagnósticos de edificações.
- [3] Inês Flores Colen, Jorge de Brito, Vasco P. Freitas, (2006). Diagnóstico e técnicas de manutenção, classificação - manchas em fachadas.
- [4] Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides, Petros Christou, Soteris A. Kalogirou, (2014). Aplicação de termografia infravermelha (IRT) nos diagnósticos de edificações.
- [5] Telmo G. Santos, R. M. Miranda, M. Teresa Vieira, A. Rita Farinha, Telma J. Ferreira, Luisa Quintino, Pedro Vilaça, Carla C. C. R. de Carvalho, (2015). Detecção de micro e nano defeitos usando células bacterianas.
- [6] Yuval Garini, Ian T. Young, George McNamara, (2006). Imagem espectral: Princípios e aplicações.
- [7] Ana S. Guimarães, João M. P. Q. Delgado, Vasco P. de Freitas, (2016). Tratamento de humidades ascendentes nas paredes de edifícios históricos: Campanha experimental com uso de ventilação e análise da interface.
- [8] João Appleton, Reabilitação de Edifícios Antigos, (2011). Patologias e Tecnologias de Intervenção, Edições Orion.
- [9] Angeliki Kylili, Paris A. Fokaides, Petros C., S. A. Kalogirou, (2014). Aplicação da Termografia Infravermelha na construção de edifícios.
- [10] Fonseca, (2009). Tese de Mestrado da Avaliação da eficácia de tratamentos convencionais e aplicações alternativas para prevenir a biodeterioração do património cultural, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [11] João Adriano Vieira Pereira, (2013). Tese de Mestrado do Estudo e aplicação de ensaios Não Destrutivos (Líquidos penetrantes, Ultra sons, Radiografia digital – Técnica tangencial medição de espessuras).
- [12] N. P. Avdelidisa, A. Moropouloub, (2002). Considerações de emissividade no uso da técnica da Termografia.
- [13] Sara S. Freitas, Vasco P. Freitas, Eva Barreira, (2014). Detecção de destacamentos de gesso de uma fachada, usando a técnica da termografia infravermelha – técnica não destrutiva.
- [14] www.mapei.com, (2016). Brochura sobre a degradação do betão.

- [15] Vítor Córias, (2006). Inspeções e Ensaios na Reabilitação De Edifícios, I.S.T.: Lisboa.
- [16] Jornal Oficial da União Europeia para Materiais de Construção, Dezembro 2016.
- [17] www.flir.com
- [18] www.tecnilab.pt, brochura sobre o sistema e equipamentos de monitorização de estruturas, 2016
- [19] A. Moropoulou, K. C. Labropoulous, E.T. Delegou, Maria K., Asterios B., (2013). Técnicas não destrutivas como ferramenta para a proteção do património cultural construído.
- [20] www.weber.com
- [21] www.markelowitx.com/Hyperspectral.html
- [22] www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/10.pdf
- [23] Paula Ikematsu, (2007). Estudo da reflectância e sua influência no comportamento de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes.
- [24] Revista Recursos Hídricos, Vol 34, 2013
- [25] Aguiar, J. et al, (1997) – Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais. DGOT /LNEC. Lisboa
- [26] Lusa, Universidade de Aveiro que estuda a colonização biológica de edifícios, 2016
- [27] Vitor Córias, (2007). Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos.
- [28] Alice Tavares, Aníbal Costa, Humberto Varum, (2011). Manual de reabilitação e Manutenção de Edifícios – Guia de Intervenção, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro Inovadomus.
- [29] Inspeção, Anomalias e reabilitação de Revestimentos, IST, www.civil.ist.utl.pt
- [30] Orientação da Comissão Técnica 104-DCC, do RILEM
- [31] Luis Filipe Rodrigues de Sousa, (2010). Dissertação sobre “Aplicação de Termografia no ensaio do Isolamento Térmico de Edifícios”, U.A.: Aveiro.
- [32] Liliana Sofia Neno Páscoa (2012) – “Índice de secagem como parâmetro em serviços dos rebocos aplicados em paredes exteriores”. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. I.S.T.: Lisboa.
- [33] João Adriano Vieira Pereira (2013). “Estudo e aplicação de ensaios não destrutivos: Líquidos penetrantes, Ultra sons, Radiografia digital – Técnica tangencial medição de espessuras”. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. FEUP: Porto.
- [34] <http://revista.arp.org.pt>, António Cosentino, (2015) “Multispectral imaging system using 12 interference filters for mapping pigments”. Cultural heritage Science Open Source, Piazza Cantarella 11, Aci Sant’Antonio, 95025, Italy.

- [35] Valença, J. et al (2010) – “ Desenvolvimento de um Método Inovador de Detecção e Medição de Fissuras em Estruturas de Betão”. Artigo técnico referente ao encontro nacional de betão estrutural. Lisboa
- [36] Valença, J. et al (2008) – “Inspeção de estruturas de betão com laser scanning, análise multiespectral e processamento de sinal”. Artigo técnico referente ao encontro nacional betão estrutural. Guimarães.
- [37] <http://blog.infaimon.com/pt/etiqueta/construcao>
- [38] Paiva, J.A.V., (2005). Aprovação Técnica Europeia A via para a marcação CE dos produtos de construção Inovadores. COM 112, Lisboa, LNEC.
- [39] Revista técnica designada por Materiais de construção, n.º 166
- [40] www.eota.eu
- [41] www.lnec.pt
- [42] Jornal oficial da União europeia, C272, N.º 59 de 26 de Julho de 2016
- [43] Manual de apoio: A marcação CE dos produtos de construção passo a passo, Co-funded by The COSME programme of the European Union.
- [44] www.dre.pt
- [45] Colen, Inês Flores et al (2010). “Ensaios in-situ e em laboratório para caracterização do desempenho em serviço de rebocos pré-doseados aplicados em fachadas de edifícios correntes”, 3.º Congresso Português de Argamassas de construção, APFAC, Março 2010, Lisboa.
- [46] Eduarda Maria Pereira da Silva, (2011). “Avaliação Laboratorial De Propriedades Hígricas Dos Materiais de Construção – Transferência de água na fase líquida”. Dissertação para Mestre em Engenharia civil – Especialização em Construções. Porto: FEUP
- [47] Liliana Sofia Neno Páscoa, (2012). “Índice de Secagem como Parâmetro em Serviço dos Rebocos Aplicados em Paredes Exteriores”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Lisboa: IST: Lisboa
- [48] Lucas, J. (1990). – “Exigências funcionais de revestimentos de paredes”, ITE 25, LNEC: Lisboa
- [49] <https://www.nature.com/nature/journal/vaap/ncurrent/full/nature24647.html#author-information>
- [50] https://www.suapesquisa.com/monumentos/muralha_china
- [51] <http://impactciencia.blogspot.pt/2013/10/antiga-civilizacao-harappa>

- [52] Varum, H. et al (2008) – “Caracterização do Adobe Em Construções Existentes Na Região de Aveiro”, IV Seminário Ibero-Americano De Construção com Terra, III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, UA: Aveiro.
- [53] Gomes, Celso (1986) – “Argilas, O que são e para que servem”, Livro Técnico Fundação Calouste Gulbenkian.
- [54] Varum, H. et al, (2008) – “Caracterização do Comportamento Estrutural de Paredes de Alvenaria de Adobe”, Revista de Associação Portuguesa de análise Experimental de Tensões, ISSN 1646-7078. U.A.: Aveiro
- [55] Moreira, Anabela (2009) – Disciplina de Materiais de construção, “Documento Técnico sobre Terra Crua”. E.S.T.T.: Tomar, 10 p
- [56] <https://cnaturais7.files.wordpress.com/2008/05/ciclogeoms>
- [57] <https://upload.wikimedia.org>
- [58] <https://upload.wikimedia.org>
- [59] <https://pt.slideshare.net/lucasbuffat/geologia-a> – “Propriedade Índice e Classificação das Rochas, Geologia de engenharia”
- [60] Rocha, Fábio (2016) – “Caracterização Física-Mecânica de Calcários Utilizados na Calçada Portuguesa”. Dissertação para Obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Geológica e de Minas. U.C.: Coimbra.
- [61] Caracterização da assinatura espectral de minério de ferro no alvo N4 Carajas
- [62] <https://www.bing.com/images>
- [63] <https://images.turismoenportugal.org/Fabrica-de-Ceramica-de-Jeronymo-Pereira-Aveiro.jpg>
- [64] <https://pt.wikipedia.org>
- [65] Dias, António Baio – “Uma Breve Retrospectiva De Soluções De Paredes De Elementos Cerâmicos”
- [66] Dias, A. Baio (1993) – “Da caracterização do componente mecânico e térmico do tijolo ao redesenho da sua geometria”, Tese de mestrado. FCTUC: Coimbra.
- [67] Silva, J. Mendes (1998) – “Fissuração das alvenarias, Estudo do comportamento das alvenarias sob ações térmicas, tese de doutoramento. FCTUC: Coimbra.
- [68] Lanzinha, J.C. (1998) – “Propriedades higrotérmicas de materiais de construção”, tese de mestrado. FCTUC: Coimbra.
- [69] Dias, António Baio (2009) – “Manual de alvenaria de tijolo, CCTV

- [70] Melo, Fontes (2007) – Seminário sobre paredes de alvenaria, P.B. Lourenço et al. (eds.; Aplicações em betão leve de argila expandida;
http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria_2007/169_180.pdf)
- [71] http://www.artebel.pt/index.php/produtos/blocos_acusticos/soundconfort
- [72] <http://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php?module=nivs&id=182>
- [73] Mendonça, (2005) – Sistemas de Fachadas. Tese de doutoramento. Universidade do Minho, <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4250/8/TeseDoutMendonca8.pdf>
- [74] Maropoulou, A. et al (2016) “Coeficiente de aumento capilar dos materiais de construção: conceitos, determinação e parâmetros envolvidos]
- [75] Martin Kruss, “Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials – Theoretical Principles and New Test Methods”, Fraunhofer IRB Verlag.
- [76] [Manual de instruções “testo 875 – Câmara Termográfica, Testo Portugal].
- [77] <http://www.infrared.thermography.com>
- [78] www.IPMA.pt
- [79] Bandas TM, Informação do IST.

ANEXO A1 – Fichas de Ensaio de Determinação do Coeficiente de Absorção de água

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: **TA** início 14.06.17; 16:06 horas fim 20.06.17
 Área m² 22,8 ° C 24,2 ° C
 70 % HR 65 % HR

tempo	Tempo	massa	Δm	Δm cum.	\sqrt{t}	Δm cum.	Δm cum.
(Horas)	(min)	(g)	(kg)	(kg)	(min ^{1/2})	(kg/m ²)	(m)
00:00	0,00	3016,60	0	0	0,000	0,000	0
00:05	5,00	3024,10	0,01	0,01	2,24	1,36	0,015
00:10	10,00	3026,00	0,00	0,01	3,16	1,71	0,02
00:15	15,00	3029,20	0,00	0,01	3,87	2,29	0,02
00:20	20,00	3031,90	0,00	0,02	4,47	2,78	0,02
00:25	25,00	3033,50	0,00	0,02	5,00	3,07	0,023
00:30	30,00	3035,00	0,00	0,02	5,48	3,35	0,025
00:35	35,00	3036,50	0,00	0,02	5,92	3,62	0,025
00:40	40,00	3037,90	0,00	0,02	6,32	3,87	0,027
00:45	45,00	3039,00	0,00	0,02	6,71	4,07	0,028
00:50	50,00	3040,20	0,00	0,02	7,07	4,29	0,028
00:55	55,00	3041,20	0,00	0,02	7,42	4,47	0,029
01:00	60,00	3042,20	0,00	0,03	7,75	4,65	0,029
01:05	65,00	3042,80	0,00	0,03	8,06	4,76	0,03
01:10	70,00	3043,60	0,00	0,03	8,37	4,91	0,032
01:20	80,00	3045,30	0,00	0,03	8,94	5,22	0,033
01:30	90,00	3047,00	0,00	0,03	9,49	5,53	0,034
01:40	100,00	3048,50	0,00	0,03	10,00	5,80	0,036
01:50	110,00	3049,80	0,00	0,03	10,49	6,04	0,038
02:00	120,00	3051,30	0,00	0,03	10,95	6,31	0,039
02:10	130,00	3052,70	0,00	0,04	11,40	6,56	0,04
02:15	135,00	3053,40	0,00	0,04	11,62	6,69	0,04
02:20	140,00	3054,00	0,00	0,04	11,83	6,80	0,04
02:30	150,00	3055,30	0,00	0,04	12,25	7,04	0,043
02:40	160,00	3056,50	0,00	0,04	12,65	7,25	0,043
02:50	170,00	3057,70	0,00	0,04	13,04	7,47	0,044
03:00	180,00	3059,10	0,00	0,04	13,42	7,73	0,045
03:10	190,00	3060,30	0,00	0,04	13,78	7,95	0,045
03:20	200,00	3061,50	0,00	0,04	14,14	8,16	0,046
03:30	210,00	3062,90	0,00	0,05	14,49	8,42	0,047
03:40	220,00	3064,20	0,00	0,05	14,83	8,65	0,049
03:50	230,00	3065,40	0,00	0,05	15,17	8,87	0,051
04:00	240,00	3066,70	0,00	0,05	15,49	9,11	0,052
04:10	250,00	3067,80	0,00	0,05	15,81	9,31	0,052
04:20	260,00	3069,20	0,00	0,05	16,12	9,56	0,055
04:30	270,00	3070,10	0,00	0,05	16,43	9,73	0,055
04:40	280,00	3071,10	0,00	0,05	16,73	9,91	0,056
04:50	290,00	3072,10	0,00	0,06	17,03	10,09	0,056
05:00	300,00	3073,30	0,00	0,06	17,32	10,31	0,06
05:10	310,00	3074,20	0,00	0,06	17,61	10,47	0,061
05:20	320,00	3075,40	0,00	0,06	17,89	10,69	0,062
05:30	330,00	3076,80	0,00	0,06	18,17	10,95	0,064
05:40	340,00	3078,10	0,00	0,06	18,44	11,18	0,065
05:50	350,00	3079,20	0,00	0,06	18,71	11,38	0,065
06:00	360,00	3080,60	0,00	0,06	18,97	11,64	0,07
06:10	370,00	3081,80	0,00	0,07	19,24	11,85	0,07
06:20	380,00	3083,00	0,00	0,07	19,49	12,07	0,071
06:30	390,00	3083,90	0,00	0,07	19,75	12,24	0,072
06:40	400,00	3084,90	0,00	0,07	20,00	12,42	0,072
06:50	410,00	3085,80	0,00	0,07	20,25	12,58	0,073
07:00	420,00	3086,80	0,00	0,07	20,49	12,76	0,073
07:10	430,00	3088,80	0,00	0,07	20,74	13,13	0,075
07:20	440,00	3089,90	0,00	0,07	20,98	13,33	0,076
07:30	450,00	3090,40	0,00	0,07	21,21	13,42	0,076
07:40	460,00	3090,80	0,00	0,07	21,45	13,49	0,076
07:50	470,00	3091,60	0,00	0,08	21,68	13,64	0,078
08:00	480,00	3092,70	0,00	0,08	21,91	13,84	0,078
08:10	490,00	3093,60	0,00	0,08	22,14	14,00	0,078
08:20	500,00	3094,50	0,00	0,08	22,36	14,16	0,079
08:30	510,00	3095,20	0,00	0,08	22,58	14,29	0,08

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TA (continuação)	início	fim
	14.06.17; 16:06 horas	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/> m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
	70 % HR	65 % HR

tempo	Tempo	massa	Δm	Δm cum.	\sqrt{t}	Δm cum.	Δm cum.
(Horas)	(min)	(g)	(kg)	(kg)	(min ^{1/2})	(kg/m ²)	(m)
18:10	1.090,00	3133,70	0,04	0,12	33,02	21,29	0,11
18:30	1.110,00	3135,00	0,00	0,12	33,32	21,53	0,11
18:40	1.120,00	3135,70	0,00	0,12	33,47	21,65	0,112
18:50	1.130,00	3136,50	0,00	0,12	33,62	21,80	0,112
19:00	1.140,00	3137,40	0,00	0,12	33,76	21,96	0,112
19:10	1.150,00	3137,90	0,00	0,12	33,91	22,05	0,112
19:20	1.160,00	3138,50	0,00	0,12	34,06	22,16	0,113
19:30	1.170,00	3139,30	0,00	0,12	34,21	22,31	0,113
19:40	1.180,00	3139,90	0,00	0,12	34,35	22,42	0,113
19:50	1.190,00	3140,50	0,00	0,12	34,50	22,53	0,114
23:20	1.400,00	3152,30	0,01	0,14	37,42	24,67	0,12
23:40	1.420,00	3153,40	0,00	0,14	37,68	24,87	0,12
23:50	1.430,00	3154,30	0,00	0,14	37,82	25,04	0,122
00:00	1.440,00	3154,80	0,00	0,14	37,95	25,13	0,122
00:10	1.450,00	3155,70	0,00	0,14	38,08	25,29	0,122
00:20	1.460,00	3156,50	0,00	0,14	38,21	25,44	0,122
00:30	1.470,00	3156,90	0,00	0,14	38,34	25,51	0,122
05:10	1.750,00	3171,50	0,01	0,15	41,83	28,16	0,13
05:30	1.770,00	3172,40	0,00	0,16	42,07	28,33	0,13
05:50	1.790,00	3173,30	0,00	0,16	42,31	28,49	0,13
06:10	1.810,00	3174,30	0,00	0,16	42,54	28,67	0,13
06:30	1.830,00	3175,20	0,00	0,16	42,78	28,84	0,133
06:50	1.850,00	3176,30	0,00	0,16	43,01	29,04	0,135
19:10	2.590,00	3206,20	0,03	0,19	50,89	34,47	0,15
19:30	2.610,00	3207,00	0,00	0,19	51,09	34,62	0,15
19:50	2.630,00	3207,50	0,00	0,19	51,28	34,71	0,15
20:10	2.650,00	3208,90	0,00	0,19	51,48	34,96	0,15
20:20	2.660,00	3209,70	0,00	0,19	51,58	35,11	0,15
20:40	2.680,00	3210,80	0,00	0,19	51,77	35,31	0,15
20:50	2.690,00	3211,50	0,00	0,19	51,87	35,44	0,15
21:00	2.700,00	3212,20	0,00	0,20	51,96	35,56	0,15
23:40	2.860,00	3219,80	0,01	0,20	53,48	36,95	0,155
00:10	2.890,00	3221,00	0,00	0,20	53,76	37,16	0,155
00:20	2.900,00	3221,70	0,00	0,21	53,85	37,29	0,157
00:40	2.920,00	3222,30	0,00	0,21	54,04	37,40	0,157
01:00	2.940,00	3223,00	0,00	0,21	54,22	37,53	0,157
01:20	2.960,00	3223,90	0,00	0,21	54,41	37,69	0,157
01:40	2.980,00	3224,60	0,00	0,21	54,59	37,82	0,157
02:20	3.020,00	3225,70	0,00	0,21	54,95	38,02	0,16
02:40	3.040,00	3226,20	0,00	0,21	55,14	38,11	0,16
03:00	3.060,00	3226,40	0,00	0,21	55,32	38,15	0,16
03:20	3.080,00	3227,20	0,00	0,21	55,50	38,29	0,165
03:40	3.100,00	3227,90	0,00	0,21	55,68	38,42	0,165
04:00	3.120,00	3229,10	0,00	0,21	55,86	38,64	0,165
04:20	3.140,00	3230,20	0,00	0,21	56,04	38,84	0,165
04:40	3.160,00	3230,70	0,00	0,21	56,21	38,93	0,165
04:50	3.170,00	3231,30	0,00	0,21	56,30	39,04	0,165
05:25	3.205,00	3232,70	0,00	0,22	56,61	39,29	0,165
05:30	3.210,00	3233,30	0,00	0,22	56,66	39,40	0,165
05:40	3.220,00	3233,60	0,00	0,22	56,75	39,45	0,165
18:00	3.960,00	3259,80	0,03	0,24	62,93	44,22	0,185
18:20	3.980,00	3260,80	0,00	0,24	63,09	44,40	0,185
18:40	4.000,00	3261,20	0,00	0,24	63,25	44,47	0,186
19:00	4.020,00	3262,20	0,00	0,25	63,40	44,65	0,187
19:20	4.040,00	3263,00	0,00	0,25	63,56	44,80	0,188

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TA (continuação)	início	fim
	14.06.17; 16:06 horas	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/> m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
	70 % HR	65 % HR

tempo	Tempo	massa	Δm	Δm cum.	\sqrt{t}	Δm cum.	Δm cum.
(Horas)	(min)	(g)	(kg)	(kg)	(min ^{1/2})	(kg/m ²)	(m)
19:40	4.060,00	3263,80	0,00	0,25	63,72	44,95	0,19
20:00	4.080,00	3264,50	0,00	0,25	63,87	45,07	0,193
21:20	4.160,00	3267,20	0,00	0,25	64,50	45,56	0,195
22:20	4.220,00	3269,10	0,00	0,25	64,96	45,91	0,193
22:40	4.240,00	3269,80	0,00	0,25	65,12	46,04	0,19
23:00	4.260,00	3270,30	0,00	0,25	65,27	46,13	0,19
23:10	4.270,00	3270,80	0,00	0,25	65,35	46,22	0,19
23:20	4.280,00	3271,40	0,00	0,25	65,42	46,33	0,19
23:40	4.290,00	3272,00	0,00	0,26	65,50	46,44	0,19
00:00	4.320,00	3272,80	0,00	0,26	65,73	46,58	0,19
01:00	4.380,00	3274,60	0,00	0,26	66,18	46,91	0,192
01:20	4.400,00	3275,80	0,00	0,26	66,33	47,13	0,192
01:40	4.420,00	3276,40	0,00	0,26	66,48	47,24	0,195
02:00	4.440,00	3277,30	0,00	0,26	66,63	47,40	0,195
02:20	4.460,00	3277,60	0,00	0,26	66,78	47,45	0,195
02:40	4.480,00	3278,20	0,00	0,26	66,93	47,56	0,195
03:00	4.500,00	3278,80	0,00	0,26	67,08	47,67	0,195
03:20	4.520,00	3279,40	0,00	0,26	67,23	47,78	0,195
03:40	4.540,00	3279,80	0,00	0,26	67,38	47,85	0,195
04:00	4.560,00	3280,30	0,00	0,26	67,53	47,95	
04:20	4.580,00	3281,10	0,00	0,26	67,68	48,09	
04:40	4.600,00	3281,60	0,00	0,27	67,82	48,18	
05:00	4.620,00	3282,30	0,00	0,27	67,97	48,31	
06:20	4.640,00	3284,30	0,00	0,27	68,12	48,67	
06:40	4.660,00	3285,00	0,00	0,27	68,26	48,80	
07:00	4.740,00	3285,60	0,00	0,27	68,85	48,91	
07:20	4.760,00	3286,10	0,00	0,27	68,99	49,00	
09:20	4.880,00	3289,10	0,00	0,27	69,86	49,55	
09:40	4.900,00	3289,50	0,00	0,27	70,00	49,62	
10:00	4.920,00	3290,30	0,00	0,27	70,14	49,76	
18:30	5.430,00	3302,90	0,01	0,29	73,69	52,05	
18:40	5.440,00	3303,80	0,00	0,29	73,76	52,22	
19:00	5.460,00	3304,10	0,00	0,29	73,89	52,27	
19:10	5.470,00	3304,30	0,00	0,29	73,96	52,31	
19:20	5.480,00	3304,50	0,00	0,29	74,03	52,35	
19:30	5.490,00	3304,60	0,00	0,29	74,09	52,36	
20:03	5.523,00	3305,20	0,00	0,29	74,32	52,47	
23:20	5.730,00	3309,10	0,00	0,29	75,70	53,18	
23:30	5.740,00	3309,40	0,00	0,29	75,76	52,53	
23:40	5.825,00	3309,70	0,00	0,29	76,32	52,58	
01:05	5.880,00	3312,20	0,00	0,29	76,68	53,04	
02:00	5.910,00	3313,90	0,00	0,29	76,88	53,35	
02:30	5.940,00	3314,80	0,00	0,29	77,07	53,51	
03:00	5.970,00	3315,50	0,00	0,30	77,27	53,64	
03:30	6.000,00	3316,10	0,00	0,30	77,46	53,75	
04:00	6.030,00	3316,90	0,00	0,30	77,65	53,89	
04:30	6.060,00	3318,30	0,00	0,30	77,85	54,15	
19:00	6.930,00	3334,50	0,02	0,31	83,25	57,09	
19:30	6.960,00	3335,20	0,00	0,31	83,43	57,22	
20:00	6.982,00	3336,00	0,00	0,32	83,56	57,36	
20:22	6.990,00	3336,20	0,00	0,32	83,61	57,40	
20:30	7.002,00	3336,30	0,00	0,32	83,68	57,42	
20:42	7.210,00	3336,60	0,00	0,32	84,91	57,47	
00:10	7.225,00	3340,90	0,00	0,32	85,00	58,25	
00:25	7.245,00	3340,90	0,00	0,32	85,12	58,25	
00:45	7.315,00	3341,20	0,00	0,32	85,53	58,31	
01:55	7.355,00	3341,10	0,00	0,32	85,76	58,29	
02:35	7.500,00	3341,10	0,00	0,32	86,60	58,29	
05:00	7.520,00	3342,40	0,00	0,32	86,72	58,53	
05:20	7.530,00	3342,70	0,00	0,32	86,78	58,58	
05:30	9.010,00	3342,80	0,00	0,32	94,92	58,60	
	9.070,00	3344,30	0,00	0,32	95,24	58,87	
	9.100,00	3344,80	0,00	0,32	95,39	58,96	
	10.540,00	3359,20	0,01	0,34	102,66	61,58	

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TB	início	fim
	14.06.17; 16:06 horas	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/> m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
	70 % HR	65 % HR

tempo (min)	Tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Δm cum. (m)
00:00	0,00	3004,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
00:05	5,00	3011,50	0,01	0,01	2,24	1,33	0,013
00:10	10,00	3013,60	0,00	0,01	3,16	1,71	0,015
00:15	15,00	3016,10	0,00	0,01	3,87	2,16	0,017
00:20	20,00	3018,30	0,00	0,01	4,47	2,56	0,018
00:25	25,00	3019,90	0,00	0,02	5,00	2,85	0,020
00:30	30,00	3021,60	0,00	0,02	5,48	3,16	0,022
00:35	35,00	3022,80	0,00	0,02	5,92	3,38	0,023
00:40	40,00	3023,80	0,00	0,02	6,32	3,56	0,025
00:45	45,00	3025,10	0,00	0,02	6,71	3,80	0,026
00:50	50,00	3026,10	0,00	0,02	7,07	3,98	0,027
00:55	55,00	3027,00	0,00	0,02	7,42	4,15	0,028
01:00	60,00	3027,40	0,00	0,02	7,75	4,22	0,029
01:05	65,00	3028,60	0,00	0,02	8,06	4,44	0,029
01:10	70,00	3029,40	0,00	0,03	8,37	4,58	0,029
01:20	80,00	3031,00	0,00	0,03	8,94	4,87	0,030
01:30	90,00	3032,50	0,00	0,03	9,49	5,15	0,031
01:40	100,00	3033,80	0,00	0,03	10,00	5,38	0,032
01:50	110,00	3035,20	0,00	0,03	10,49	5,64	0,033
02:00	120,00	3036,50	0,00	0,03	10,95	5,87	0,034
02:10	130,00	3037,70	0,00	0,03	11,40	6,09	0,035
02:15	135,00	3038,30	0,00	0,03	11,62	6,20	0,035
02:20	140,00	3038,9	0,00	0,03	11,83	6,31	0,035
02:30	150,00	3040,1	0,00	0,04	12,25	6,53	0,037
02:40	160,00	3041,2	0,00	0,04	12,65	6,73	0,038
02:50	170,00	3042,3	0,00	0,04	13,04	6,93	0,039
03:00	180,00	3043,6	0,00	0,04	13,42	7,16	0,040
03:10	190,00	3044,8	0,00	0,04	13,78	7,38	0,041
03:20	200,00	3046	0,00	0,04	14,14	7,60	0,041
03:30	210,00	3047,1	0,00	0,04	14,49	7,80	0,043
03:40	220,00	3048,3	0,00	0,04	14,83	8,02	0,045
03:50	230,00	3049,4	0,00	0,05	15,17	8,22	0,047
04:00	240,00	3050,6	0,00	0,05	15,49	8,44	0,048
04:10	250,00	3051,8	0,00	0,05	15,81	8,65	0,050
04:20	260,00	3053	0,00	0,05	16,12	8,87	0,050
04:30	270,00	3053,8	0,00	0,05	16,43	9,02	0,050
04:40	280,00	3054,8	0,00	0,05	16,73	9,20	0,050
04:50	290,00	3055,3	0,00	0,05	17,03	9,29	0,050
05:00	300,00	3056,8	0,00	0,05	17,32	9,56	0,050
05:10	310,00	3057,7	0,00	0,05	17,61	9,73	0,050
05:20	320,00	3058,8	0,00	0,05	17,89	9,93	0,051
05:30	330,00	3060,1	0,00	0,06	18,17	10,16	0,051
05:40	340,00	3061,2	0,00	0,06	18,44	10,36	0,055
05:50	350,00	3062,4	0,00	0,06	18,71	10,58	0,056
06:00	360,00	3064,4	0,00	0,06	18,97	10,95	0,056
06:10	370,00	3064,2	0,00	0,06	19,24	10,91	0,058
06:20	380,00	3065,4	0,00	0,06	19,49	11,13	0,060
06:30	390,00	3066,4	0,00	0,06	19,75	11,31	0,060
06:40	400,00	3067,1	0,00	0,06	20,00	11,44	0,061
06:50	410,00	3068	0,00	0,06	20,25	11,60	0,062
07:00	420,00	3069	0,00	0,06	20,49	11,78	0,063
07:10	430,00	3070,6	0,00	0,07	20,74	12,07	0,065
07:20	440,00	3071,6	0,00	0,07	20,98	12,25	0,066
07:30	450,00	3072,1	0,00	0,07	21,21	12,35	0,067
07:40	460,00	3072,2	0,00	0,07	21,45	12,36	0,067
07:50	470,00	3073,1	0,00	0,07	21,68	12,53	0,067
08:00	480,00	3073,8	0,00	0,07	21,91	12,65	0,067
08:10	490,00	3074,6	0,00	0,07	22,14	12,80	0,068
08:20	500,00	3075,3	0,00	0,07	22,36	12,93	0,070
08:30	510,00	3075,9	0,00	0,07	22,58	13,04	0,072

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TB (continuação)	início	fim
	14.06.17; 16:06 horas	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/> m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
	70 % HR	65 % HR

tempo (min)	Tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Δm cum. (m)
18:10	1.090,00	3109,7	0,03	0,11	33,02	19,18	0,100
18:30	1.110,00	3111	0,00	0,11	33,32	19,42	0,102
18:40	1.120,00	3111,6	0,00	0,11	33,47	19,53	0,102
18:50	1.130,00	3112,3	0,00	0,11	33,62	19,65	0,103
19:00	1.140,00	3113	0,00	0,11	33,76	19,78	0,104
19:10	1.150,00	3113,5	0,00	0,11	33,91	19,87	0,104
19:20	1.160,00	3113,9	0,00	0,11	34,06	19,95	0,104
19:30	1.170,00	3114,6	0,00	0,11	34,21	20,07	0,105
19:40	1.180,00	3115,2	0,00	0,11	34,35	20,18	0,105
19:50	1.190,00	3115,9	0,00	0,11	34,50	20,31	0,105
23:20	1.400,00	3126,4	0,01	0,12	37,42	22,22	0,110
23:40	1.420,00	3127,6	0,00	0,12	37,68	22,44	0,111
23:50	1.430,00	3127,9	0,00	0,12	37,82	22,49	0,112
00:00	1.440,00	3128,8	0,00	0,12	37,95	22,65	0,112
00:10	1.450,00	3129,4	0,00	0,13	38,08	22,76	0,112
00:20	1.460,00	3130,2	0,00	0,13	38,21	22,91	0,112
00:30	1.470,00	3130,6	0,00	0,13	38,34	22,98	0,113
05:10	1.750,00	3143,1	0,01	0,14	41,83	25,25	0,120
05:30	1.770,00	3143,9	0,00	0,14	42,07	25,40	0,120
05:50	1.790,00	3145	0,00	0,14	42,31	25,60	0,123
06:10	1.810,00	3145,8	0,00	0,14	42,54	25,75	0,125
06:30	1.830,00	3146,7	0,00	0,14	42,78	25,91	0,126
06:50	1.850,00	3147,7	0,00	0,14	43,01	26,09	0,127
19:10	2.590,00	3175,8	0,03	0,17	50,89	31,20	0,145
19:30	2.610,00	3176,6	0,00	0,17	51,09	31,35	0,145
19:50	2.630,00	3177,6	0,00	0,17	51,28	31,53	0,145
20:10	2.650,00	3178,5	0,00	0,17	51,48	31,69	0,145
20:20	2.660,00	3179,1	0,00	0,17	51,58	31,80	0,145
20:40	2.680,00	3180,3	0,00	0,18	51,77	32,02	0,145
20:50	2.690,00	3181,2	0,00	0,18	51,87	32,18	0,140
21:00	2.700,00	3181,5	0,00	0,18	51,96	32,24	0,140
23:40	2.860,00	3188,5	0,01	0,18	53,48	33,51	0,145
00:10	2.890,00	3189,9	0,00	0,19	53,76	33,76	0,145
00:20	2.900,00	3190,7	0,00	0,19	53,85	33,91	0,145
00:40	2.920,00	3191,4	0,00	0,19	54,04	34,04	0,145
01:00	2.940,00	3192	0,00	0,19	54,22	34,15	0,146
01:20	2.960,00	3192,8	0,00	0,19	54,41	34,29	0,146
01:40	2.980,00	3193,4	0,00	0,19	54,59	34,40	0,146
02:20	3.020,00	3194,6	0,00	0,19	54,95	34,62	0,148
02:40	3.040,00	3195,1	0,00	0,19	55,14	34,71	0,150
03:00	3.060,00	3195,4	0,00	0,19	55,32	34,76	0,150
03:20	3.080,00	3196,2	0,00	0,19	55,50	34,91	0,152
03:40	3.100,00	3196,8	0,00	0,19	55,68	35,02	0,152
04:00	3.120,00	3197,7	0,00	0,19	55,86	35,18	0,152
04:20	3.140,00	3199,2	0,00	0,20	56,04	35,45	0,152
04:40	3.160,00	3199,4	0,00	0,20	56,21	35,49	0,155
04:50	3.170,00	3199,7	0,00	0,20	56,30	35,55	0,155
05:25	3.205,00	3201,3	0,00	0,20	56,61	35,84	0,155
05:30	3.210,00	3201,7	0,00	0,20	56,66	35,91	0,155
05:40	3.220,00	3202	0,00	0,20	56,75	35,96	0,155
18:00	3.960,00	3226,9	0,02	0,22	62,93	40,49	0,175
18:20	3.980,00	3228	0,00	0,22	63,09	40,69	0,175
18:40	4.000,00	3228,3	0,00	0,22	63,25	40,75	0,175
19:00	4.020,00	3229,2	0,00	0,23	63,40	40,91	0,175
19:20	4.040,00	3229,9	0,00	0,23	63,56	41,04	0,175

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TB (continuação)	início	fim
	14.06.17; 16:06 horas	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/> m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
	70 % HR	65 % HR

tempo (min)	Tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Δm cum. (m)
19:40	4.060,00	3230,8	0,00	0,23	63,72	41,20	0,175
20:00	4.080,00	3231,3	0,00	0,23	63,87	41,29	0,175
21:20	4.160,00	3233,7	0,00	0,23	64,50	41,73	0,175
22:20	4.220,00	3236,3	0,00	0,23	64,96	42,20	0,175
22:40	4.240,00	3236,7	0,00	0,23	65,12	42,27	0,175
23:00	4.260,00	3237,1	0,00	0,23	65,27	42,35	0,175
23:10	4.270,00	3237,7	0,00	0,23	65,35	42,45	0,175
23:20	4.280,00	3238,2	0,00	0,23	65,42	42,55	0,175
23:40	4.290,00	3238,8	0,00	0,23	65,50	42,65	0,175
00:00	4.320,00	3239,6	0,00	0,24	65,73	42,80	0,175
01:00	4.380,00	3241,5	0,00	0,24	66,18	43,15	0,180
01:20	4.400,00	3242,4	0,00	0,24	66,33	43,31	0,180
01:40	4.420,00	3243,2	0,00	0,24	66,48	43,45	0,180
02:00	4.440,00	3243,7	0,00	0,24	66,63	43,55	0,180
02:20	4.460,00	3244,4	0,00	0,24	66,78	43,67	0,185
02:40	4.480,00	3244,8	0,00	0,24	66,93	43,75	0,185
03:00	4.500,00	3245,2	0,00	0,24	67,08	43,82	0,185
03:20	4.520,00	3245,9	0,00	0,24	67,23	43,95	0,185
03:40	4.540,00	3246,5	0,00	0,24	67,38	44,05	0,185
04:00	4.560,00	3246,6	0,00	0,24	67,53	44,07	
04:20	4.580,00	3247,5	0,00	0,24	67,68	44,24	
04:40	4.600,00	3248,1	0,00	0,24	67,82	44,35	
05:00	4.620,00	3248,7	0,00	0,24	67,97	44,45	
06:20	4.640,00	3250,6	0,00	0,25	68,12	44,80	
06:40	4.660,00	3251,2	0,00	0,25	68,26	44,91	
07:00	4.740,00	3251,7	0,00	0,25	68,85	45,00	
07:20	4.760,00	3252,4	0,00	0,25	68,99	45,13	
09:20	4.880,00	3255,1	0,00	0,25	69,86	45,62	
09:40	4.900,00	3255,7	0,00	0,25	70,00	45,73	
10:00	4.920,00	3255,9	0,00	0,25	70,14	45,76	
18:30	5.430,00	3268,9	0,01	0,26	73,69	48,13	
18:40	5.440,00	3269,3	0,00	0,27	73,76	48,20	
19:00	5.460,00	3269,5	0,00	0,27	73,89	48,24	
19:10	5.470,00	3269,7	0,00	0,27	73,96	48,27	
19:20	5.480,00	3270,2	0,00	0,27	74,03	48,36	
19:30	5.490,00	3270,2	0,00	0,27	74,09	48,36	
20:03	5.523,00	3270,9	0,00	0,27	74,32	48,49	
23:20	5.730,00	3275,2	0,00	0,27	75,70	49,27	
23:30	5.740,00	3275,3	0,00	0,27	75,76	49,29	
23:40	5.825,00	3275,4	0,00	0,27	76,32	49,31	
01:05	5.880,00	3278,1	0,00	0,27	76,68	49,80	
02:00	5.910,00	3280	0,00	0,28	76,88	50,15	
02:30	5.940,00	3280,8	0,00	0,28	77,07	50,29	
03:00	5.970,00	3281,7	0,00	0,28	77,27	50,45	
03:30	6.000,00	3282,4	0,00	0,28	77,46	50,58	
04:00	6.030,00	3283,2	0,00	0,28	77,65	50,73	
04:30	6.060,00	3284,7	0,00	0,28	77,85	51,00	
19:00	6.930,00	3301,9	0,02	0,30	83,25	54,13	
19:30	6.960,00	3302,4	0,00	0,30	83,43	54,22	
20:00	6.982,00	3303,3	0,00	0,30	83,56	54,38	
20:22	6.990,00	3303,3	0,00	0,30	83,61	54,38	
20:30	7.002,00	3303,7	0,00	0,30	83,68	54,45	
20:42	7.210,00	3304,2	0,00	0,30	84,91	54,55	
00:10	7.225,00	3308,7	0,00	0,30	85,00	55,36	
00:25	7.245,00	3308,9	0,00	0,30	85,12	55,40	
00:45	7.315,00	3309,1	0,00	0,30	85,53	55,44	
01:55	7.355,00	3309,6	0,00	0,31	85,76	55,53	
02:35	7.500,00	3309,6	0,00	0,31	86,60	55,53	
05:00	7.520,00	3312,4	0,00	0,31	86,72	56,04	
05:20	7.530,00	3312,7	0,00	0,31	86,78	56,09	
	9.010,00	3312,9	0,00	0,31	94,92	56,13	
	9.070,00	3318,2	0,01	0,31	95,24	57,09	
	9.100,00	3318,9	0,00	0,31	95,39	57,22	
	10.540,00	3358,6	0,04	0,35	102,66	64,44	

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TC	14.06.17; 16:06 horas	início	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/>	m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
		70 % HR	65 % HR

tempo (min)	Tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Δm cum. (m)
00:00	0,00	3026,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0
00:05	5,00	3034,60	0,01	0,01	2,24	1,45	0,015
00:10	10,00	3037,00	0,00	0,01	3,16	1,89	0,015
00:15	15,00	3039,70	0,00	0,01	3,87	2,38	0,015
00:20	20,00	3042,00	0,00	0,02	4,47	2,80	0,019
00:25	25,00	3043,60	0,00	0,02	5,00	3,09	0,021
00:30	30,00	3045,30	0,00	0,02	5,48	3,40	0,023
00:35	35,00	3046,50	0,00	0,02	5,92	3,62	0,025
00:40	40,00	3047,70	0,00	0,02	6,32	3,84	0,027
00:45	45,00	3048,90	0,00	0,02	6,71	4,05	0,028
00:50	50,00	3050,00	0,00	0,02	7,07	4,25	0,028
00:55	55,00	3051,00	0,00	0,02	7,42	4,44	0,029
01:00	60,00	3051,80	0,00	0,03	7,75	4,58	0,030
01:05	65,00	3052,80	0,00	0,03	8,06	4,76	0,031
01:10	70,00	3053,70	0,00	0,03	8,37	4,93	0,032
01:20	80,00	3055,60	0,00	0,03	8,94	5,27	0,033
01:30	90,00	3057,10	0,00	0,03	9,49	5,55	0,033
01:40	100,00	3058,60	0,00	0,03	10,00	5,82	0,035
01:50	110,00	3060,00	0,00	0,03	10,49	6,07	0,037
02:00	120,00	3061,40	0,00	0,03	10,95	6,33	0,038
02:10	130,00	3062,70	0,00	0,04	11,40	6,56	0,038
02:15	135,00	3063,40	0,00	0,04	11,62	6,69	0,040
02:20	140,00	3064,1	0,00	0,04	11,83	6,82	0,040
02:30	150,00	3065,3	0,00	0,04	12,25	7,04	0,041
02:40	160,00	3066,6	0,00	0,04	12,65	7,27	0,041
02:50	170,00	3067,9	0,00	0,04	13,04	7,51	0,042
03:00	180,00	3069,2	0,00	0,04	13,42	7,75	0,043
03:10	190,00	3070,4	0,00	0,04	13,78	7,96	0,043
03:20	200,00	3071,8	0,00	0,05	14,14	8,22	0,043
03:30	210,00	3073,1	0,00	0,05	14,49	8,45	0,045
03:40	220,00	3074,4	0,00	0,05	14,83	8,69	0,047
03:50	230,00	3075,5	0,00	0,05	15,17	8,89	0,050
04:00	240,00	3076,8	0,00	0,05	15,49	9,13	0,050
04:10	250,00	3077,9	0,00	0,05	15,81	9,33	0,051
04:20	260,00	3079	0,00	0,05	16,12	9,53	0,051
04:30	270,00	3079,6	0,00	0,05	16,43	9,64	0,052
04:40	280,00	3080,1	0,00	0,05	16,73	9,73	0,053
04:50	290,00	3082,1	0,00	0,06	17,03	10,09	0,055
05:00	300,00	3083,2	0,00	0,06	17,32	10,29	0,056
05:10	310,00	3084,3	0,00	0,06	17,61	10,49	0,057
05:20	320,00	3085,4	0,00	0,06	17,89	10,69	0,057
05:30	330,00	3086,8	0,00	0,06	18,17	10,95	0,059
05:40	340,00	3088,1	0,00	0,06	18,44	11,18	0,059
05:50	350,00	3089,5	0,00	0,06	18,71	11,44	0,060
06:00	360,00	3090,9	0,00	0,06	18,97	11,69	0,062
06:10	370,00	3091,5	0,00	0,06	19,24	11,80	0,063
06:20	380,00	3092,8	0,00	0,07	19,49	12,04	0,064
06:30	390,00	3093,7	0,00	0,07	19,75	12,20	0,064
06:40	400,00	3094,5	0,00	0,07	20,00	12,35	0,065
06:50	410,00	3095,6	0,00	0,07	20,25	12,55	0,065
07:00	420,00	3096,6	0,00	0,07	20,49	12,73	0,065
07:10	430,00	3098,5	0,00	0,07	20,74	13,07	0,066
07:20	440,00	3099,3	0,00	0,07	20,98	13,22	0,066
07:30	450,00	3099,8	0,00	0,07	21,21	13,31	0,068
07:40	460,00	3100,2	0,00	0,07	21,45	13,38	0,070
07:50	470,00	3101,2	0,00	0,07	21,68	13,56	0,070
08:00	480,00	3102	0,00	0,08	21,91	13,71	0,070
08:10	490,00	3102,9	0,00	0,08	22,14	13,87	0,072
08:20	500,00	3103,7	0,00	0,08	22,36	14,02	0,072
08:30	510,00	3104,8	0,00	0,08	22,58	14,22	0,074

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: TC (Continuação)	início	fim
	14.06.17; 16:06 horas	20.06.17
Área <input type="text" value="0,0055"/> m ²	22,8 ° C	24,2 ° C
	70 % HR	65 % HR

tempo (min)	Tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Δm cum. (m)
18:10	1.090,00	3141,8	0,04	0,12	33,02	20,95	0,105
18:30	1.110,00	3143,2	0,00	0,12	33,32	21,20	0,105
18:40	1.120,00	3143,9	0,00	0,12	33,47	21,33	0,105
18:50	1.130,00	3144,6	0,00	0,12	33,62	21,45	0,105
19:00	1.140,00	3145,3	0,00	0,12	33,76	21,58	0,105
19:10	1.150,00	3146	0,00	0,12	33,91	21,71	0,105
19:20	1.160,00	3146,6	0,00	0,12	34,06	21,82	0,105
19:30	1.170,00	3147,1	0,00	0,12	34,21	21,91	0,105
19:40	1.180,00	3147,9	0,00	0,12	34,35	22,05	0,105
19:50	1.190,00	3148,5	0,00	0,12	34,50	22,16	0,105
23:20	1.400,00	3160	0,01	0,13	37,42	24,25	0,115
23:40	1.420,00	3161,1	0,00	0,13	37,68	24,45	0,115
23:50	1.430,00	3161,8	0,00	0,14	37,82	24,58	0,115
00:00	1.440,00	3162,7	0,00	0,14	37,95	24,75	0,115
00:10	1.450,00	3163,2	0,00	0,14	38,08	24,84	0,116
00:20	1.460,00	3163,9	0,00	0,14	38,21	24,96	0,117
00:30	1.470,00	3164,3	0,00	0,14	38,34	25,04	0,117
05:10	1.750,00	3179	0,01	0,15	41,83	27,71	0,125
05:30	1.770,00	3179,9	0,00	0,15	42,07	27,87	0,125
05:50	1.790,00	3180,8	0,00	0,15	42,31	28,04	0,125
06:10	1.810,00	3181,9	0,00	0,16	42,54	28,24	0,125
06:30	1.830,00	3182,8	0,00	0,16	42,78	28,40	0,126
06:50	1.850,00	3183,7	0,00	0,16	43,01	28,56	0,126
19:10	2.590,00	3213,9	0,03	0,19	50,89	34,05	0,150
19:30	2.610,00	3214,5	0,00	0,19	51,09	34,16	0,150
19:50	2.630,00	3215,6	0,00	0,19	51,28	34,36	0,150
20:10	2.650,00	3216,8	0,00	0,19	51,48	34,58	0,150
20:20	2.660,00	3217,4	0,00	0,19	51,58	34,69	0,150
20:40	2.680,00	3218,5	0,00	0,19	51,77	34,89	0,150
20:50	2.690,00	3219,1	0,00	0,19	51,87	35,00	0,150
21:00	2.700,00	3219,6	0,00	0,19	51,96	35,09	0,150
23:40	2.860,00	3227,9	0,01	0,20	53,48	36,60	0,155
00:10	2.890,00	3229,3	0,00	0,20	53,76	36,85	0,155
00:20	2.900,00	3229,8	0,00	0,20	53,85	36,95	0,155
00:40	2.920,00	3230,6	0,00	0,20	54,04	37,09	0,156
01:00	2.940,00	3231,3	0,00	0,20	54,22	37,22	0,156
01:20	2.960,00	3232	0,00	0,21	54,41	37,35	0,156
01:40	2.980,00	3232,8	0,00	0,21	54,59	37,49	0,157
02:20	3.020,00	3234,1	0,00	0,21	54,95	37,73	0,160
02:40	3.040,00	3234,9	0,00	0,21	55,14	37,87	0,160
03:00	3.060,00	3235	0,00	0,21	55,32	37,89	0,160
03:20	3.080,00	3235,8	0,00	0,21	55,50	38,04	0,160
03:40	3.100,00	3236,5	0,00	0,21	55,68	38,16	0,160
04:00	3.120,00	3237,6	0,00	0,21	55,86	38,36	0,160
04:20	3.140,00	3238,7	0,00	0,21	56,04	38,56	0,160
04:40	3.160,00	3238,8	0,00	0,21	56,21	38,58	0,160
04:50	3.170,00	3239,4	0,00	0,21	56,30	38,69	0,160
05:25	3.205,00	3241	0,00	0,21	56,61	38,98	0,165
05:30	3.210,00	3241,2	0,00	0,21	56,66	39,02	0,165
05:40	3.220,00	3241,7	0,00	0,22	56,75	39,11	0,165
18:00	3.960,00	3268,2	0,03	0,24	62,93	43,93	0,187
18:20	3.980,00	3269,6	0,00	0,24	63,09	44,18	0,187
18:40	4.000,00	3269,7	0,00	0,24	63,25	44,20	0,187
19:00	4.020,00	3270,5	0,00	0,24	63,40	44,35	0,188
19:20	4.040,00	3271,4	0,00	0,24	63,56	44,51	0,190
19:40	4.060,00	3272,3	0,00	0,25	63,72	44,67	0,190
20:00	4.080,00	3273	0,00	0,25	63,87	44,80	0,190
21:20	4.160,00	3275,5	0,00	0,25	64,50	45,25	0,190
22:20	4.220,00	3277,6	0,00	0,25	64,96	45,64	0,190
22:40	4.240,00	3278,4	0,00	0,25	65,12	45,78	0,190
23:00	4.260,00	3278,8	0,00	0,25	65,27	45,85	0,190
23:10	4.270,00	3279,5	0,00	0,25	65,35	45,98	0,190
23:20	4.280,00	3279,9	0,00	0,25	65,42	46,05	0,190
23:40	4.290,00	3280,9	0,00	0,25	65,50	46,24	0,190
00:00	4.320,00	3281,8	0,00	0,26	65,73	46,40	0,190
01:00	4.380,00	3283,3	0,00	0,26	66,18	46,67	0,190
01:20	4.400,00	3284,3	0,00	0,26	66,33	46,85	0,195
01:40	4.420,00	3285,2	0,00	0,26	66,48	47,02	0,195
02:00	4.440,00	3285,8	0,00	0,26	66,63	47,13	0,195

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: **TC (Continuação)** início 14.06.17; 16:06 horas fim 20.06.17
22,8 ° C 24,2 ° C
 Área m² 70 % HR 65 % HR

tempo (min)	Tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Δm cum. (m)
02:20	4.460,00	3286,4	0,00	0,26	66,78	47,24	0,195
02:40	4.480,00	3286,8	0,00	0,26	66,93	47,31	0,195
03:00	4.500,00	3287,4	0,00	0,26	67,08	47,42	0,195
03:20	4.520,00	3288,1	0,00	0,26	67,23	47,55	0,195
03:40	4.540,00	3288,5	0,00	0,26	67,38	47,62	0,195
04:00	4.560,00	3288,9	0,00	0,26	67,53	47,69	
04:20	4.580,00	3289,6	0,00	0,26	67,68	47,82	
04:40	4.600,00	3290,6	0,00	0,26	67,82	48,00	
05:00	4.620,00	3291,6	0,00	0,27	67,97	48,18	
06:20	4.640,00	3293	0,00	0,27	68,12	48,44	
06:40	4.660,00	3293,6	0,00	0,27	68,26	48,55	
07:00	4.740,00	3294,3	0,00	0,27	68,85	48,67	
07:20	4.760,00	3294,6	0,00	0,27	68,99	48,73	
09:20	4.880,00	3297,4	0,00	0,27	69,86	49,24	
09:40	4.900,00	3298,2	0,00	0,27	70,00	49,38	
10:00	4.920,00	3298,8	0,00	0,27	70,14	49,49	
18:30	5.430,00	3311,9	0,01	0,29	73,69	51,87	
18:40	5.440,00	3312,4	0,00	0,29	73,76	51,96	
19:00	5.460,00	3313,1	0,00	0,29	73,89	52,09	
19:10	5.470,00	3312,9	0,00	0,29	73,96	52,05	
19:20	5.480,00	3313,4	0,00	0,29	74,03	52,15	
19:30	5.490,00	3313,5	0,00	0,29	74,09	52,16	
20:03	5.523,00	3314,1	0,00	0,29	74,32	52,27	
23:20	5.730,00	3318,4	0,00	0,29	75,70	53,05	
23:30	5.740,00	3318,5	0,00	0,29	75,76	53,07	
23:40	5.825,00	3318,6	0,00	0,29	76,32	53,09	
01:05	5.880,00	3321,1	0,00	0,29	76,68	53,55	
02:00	5.910,00	3322,8	0,00	0,30	76,88	53,85	
02:30	5.940,00	3323,7	0,00	0,30	77,07	54,02	
03:00	5.970,00	3324,4	0,00	0,30	77,27	54,15	
03:30	6.000,00	3325,3	0,00	0,30	77,46	54,31	
04:00	6.030,00	3326,3	0,00	0,30	77,65	54,49	
04:30	6.060,00	3327,5	0,00	0,30	77,85	54,71	
19:00	6.930,00	3345,1	0,02	0,32	83,25	57,91	
19:30	6.960,00	3345,6	0,00	0,32	83,43	58,00	
20:00	6.982,00	3346,3	0,00	0,32	83,56	58,13	
20:22	6.990,00	3346,6	0,00	0,32	83,61	58,18	
20:30	7.002,00	3347	0,00	0,32	83,68	58,25	
20:42	7.210,00	3347,1	0,00	0,32	84,91	58,27	
00:10	7.225,00	3351,9	0,00	0,33	85,00	59,15	
00:25	7.245,00	3352	0,00	0,33	85,12	59,16	
00:45	7.315,00	3352,4	0,00	0,33	85,53	59,24	
01:55	7.355,00	3352,7	0,00	0,33	85,76	59,29	
02:35	7.500,00	3352,7	0,00	0,33	86,60	59,29	
05:00	7.520,00	3354,5	0,00	0,33	86,72	59,62	
05:20	7.530,00	3354,8	0,00	0,33	86,78	59,67	
	9.010,00	3355	0,00	0,33	94,92	59,71	
	9.070,00	3358,2	0,00	0,33	95,24	60,29	
	9.100,00	3358,6	0,00	0,33	95,39	60,36	

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: CA	início	fim
	16.06.2017; 18:36 horas	7.07.2017
Área 0,004794 m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1922,70	0	0	0,000	0,000	0
1	1926,00	0,003300	0,003300	1,000	0,688	0,006
3	1927,80	0,001800	0,005100	1,732	1,064	0,009
5	1928,70	0,000900	0,006000	2,236	1,252	0,011
7	1929,80	0,001100	0,007100	2,646	1,481	0,011
9	1930,70	0,000900	0,008000	3,000	1,669	0,0113
11	1931,50	0,000800	0,008800	3,317	1,836	0,0113
14	1932,50	0,001000	0,009800	3,742	2,044	0,0113
16	1933,40	0,000900	0,010700	4,000	2,232	0,015
19	1933,80	0,000400	0,011100	4,359	2,315	0,015
21	1934,30	0,000500	0,011600	4,583	2,420	0,015
24	1935,10	0,000800	0,012400	4,899	2,587	0,016
26	1936,30	0,001200	0,013600	5,099	2,837	0,016
29	1936,60	0,000300	0,013900	5,385	2,899	0,017
31	1937,50	0,000900	0,014800	5,568	3,087	0,017
35	1938,30	0,000800	0,015600	5,916	3,254	0,019
39	1938,30	0,000000	0,015600	6,245	3,254	0,019
41	1938,70	0,000400	0,016000	6,403	3,338	0,02
43	1939,1	0,000400	0,016400	6,557	3,421	0,021
45	1939,4	0,000300	0,016700	6,708	3,484	0,021
47	1940	0,000600	0,017300	6,856	3,609	0,021
51	1940,6	0,000600	0,017900	7,141	3,734	0,022
56	1941,3	0,000700	0,018600	7,483	3,880	0,023
59	1941,7	0,000400	0,019000	7,681	3,963	0,024
61	1942,1	0,000400	0,019400	7,810	4,047	0,024
69	1943,1	0,001000	0,020400	8,307	4,255	0,025
71	1943,5	0,000400	0,020800	8,426	4,339	0,026
76	1944,50	0,001000	0,021800	8,718	4,547	0,027
81	1945,60	0,001100	0,022900	9,000	4,777	0,028
86	1946	0,000400	0,023300	9,274	4,860	0,028
91	1946,7	0,000700	0,024000	9,539	5,006	0,03
96	1947,3	0,000600	0,024600	9,798	5,131	0,032
101	1948,1	0,000800	0,025400	10,050	5,298	0,033
111	1949,3	0,001200	0,026600	10,536	5,549	0,034
116	1950	0,000700	0,027300	10,770	5,695	0,034
121	1950,5	0,000500	0,027800	11,000	5,799	0,035
126	1951,1	0,000600	0,028400	11,225	5,924	0,035
131	1951,7	0,000600	0,029000	11,446	6,049	0,036
136	1952,2	0,000500	0,029500	11,662	6,154	0,037
141	1952,7	0,000500	0,030000	11,874	6,258	0,038
146	1953,3	0,000600	0,030600	12,083	6,383	0,039
151	1953,8	0,000500	0,031100	12,288	6,487	0,04
161	1955,1	0,001300	0,032400	12,689	6,758	0,04
171	1955,9	0,000800	0,033200	13,077	6,925	0,041
181	1956,8	0,000900	0,034100	13,454	7,113	0,042
191	1957,6	0,000800	0,034900	13,820	7,280	0,043
942	1994,3	0,036700	0,071600	30,692	14,935	0,092
950	1994,6	0,000300	0,071900	30,822	14,998	0,094
970	1995,2	0,000600	0,072500	31,145	15,123	0,094
990	1996	0,000800	0,073300	31,464	15,290	0,095
1010	1996,7	0,000700	0,074000	31,780	15,436	0,095
1030	1997,5	0,000800	0,074800	32,094	15,603	0,097
1050	1998	0,000500	0,075300	32,404	15,707	0,096
1130	2000,4	0,002400	0,077700	33,615	16,208	0,1
1140	2000,8	0,000400	0,078100	33,764	16,291	0,101
1170	2001,7	0,000900	0,079000	34,205	16,479	0,102
1190	2002,2	0,000500	0,079500	34,496	16,583	0,104
1210	2004,5	0,002300	0,081800	34,785	17,063	0,105
1230	2004,9	0,000400	0,082200	35,071	17,146	0,106
1240	2005,2	0,000300	0,082500	35,214	17,209	0,106
1250	2005,4	0,000200	0,082700	35,355	17,251	0,106
1270	2005,9	0,000500	0,083200	35,637	17,355	0,106
1290	2006,4	0,000500	0,083700	35,917	17,459	0,107
1310	2006,9	0,000500	0,084200	36,194	17,564	0,11

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: CA (Continuação)	início 16.06.2017; 18:36 horas	fim 7.07.2017
Área <input type="text" value="0,004794"/> m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
1330	2007,5	0,000600	0,084800	36,469	17,689	0,11
1350	2007,7	0,000200	0,085000	36,742	17,730	0,112
1370	2008,2	0,000500	0,085500	37,014	17,835	0,112
1390	2008,7	0,000500	0,086000	37,283	17,939	0,112
1410	2009,1	0,000400	0,086400	37,550	18,023	0,115
1430	2009,7	0,000600	0,087000	37,815	18,148	0,116
1450	2010,2	0,000500	0,087500	38,079	18,252	0,116
1470	2010,7	0,000500	0,088000	38,341	18,356	0,116
1490	2011	0,000300	0,088300	38,601	18,419	0,117
1510	2011,4	0,000400	0,088700	38,859	18,502	0,118
1530	2011,9	0,000500	0,089200	39,115	18,607	0,12
1550	2012,3	0,000400	0,089600	39,370	18,690	0,118
1570	2012,5	0,000200	0,089800	39,623	18,732	0,118
1590	2013,2	0,000700	0,090500	39,875	18,878	0,119
1670	2014,8	0,001600	0,092100	40,866	19,212	0,121
1690	2015,2	0,000400	0,092500	41,110	19,295	0,122
1710	2015,7	0,000500	0,093000	41,352	19,399	0,122
1730	2016	0,000300	0,093300	41,593	19,462	0,125
1850	2018,5	0,002500	0,095800	43,012	19,983	0,125
1870	2018,7	0,000200	0,096000	43,243	20,025	0,127
1890	2019,3	0,000600	0,096600	43,474	20,150	0,128
2400	2028,9	0,009600	0,106200	48,990	22,153	0,145
2410	2029	0,000100	0,106300	49,092	22,174	0,145
2430	2029,5	0,000500	0,106800	49,295	22,278	0,147
2450	2029,6	0,000100	0,106900	49,497	22,299	0,148
2460	2029,8	0,000200	0,107100	49,598	22,340	0,15
2490	2030,2	0,000400	0,107500	49,900	22,424	0,15
2690	2033,3	0,003100	0,110600	51,865	23,071	0,152
2710	2033,5	0,000200	0,110800	52,058	23,112	0,155
2770	2034,5	0,001000	0,111800	52,631	23,321	0,155
2790	2034,8	0,000300	0,112100	52,820	23,383	0,155
2820	2035,2	0,000400	0,112500	53,104	23,467	0,155
2850	2035,5	0,000300	0,112800	53,385	23,529	0,155
2880	2035,8	0,000300	0,113100	53,666	23,592	0,155
2910	2036,4	0,000600	0,113700	53,944	23,717	0,155
2940	2036,8	0,000400	0,114100	54,222	23,801	0,155
2970	2037,1	0,000300	0,114400	54,498	23,863	0,155
3000	2038,4	0,001300	0,115700	54,772	24,134	
3860	2049,8	0,011400	0,127100	62,129	26,512	
3880	2050,1	0,000300	0,127400	62,290	26,575	
3885	2050,1	0,000000	0,127400	62,330	26,575	
3895	2050,1	0,000000	0,127400	62,410	26,575	
3905	2050,3	0,000200	0,127600	62,490	26,617	
3930	2050,8	0,000500	0,128100	62,690	26,721	
3945	2051	0,000200	0,128300	62,809	26,763	
3950	2051,1	0,000100	0,128400	62,849	26,783	
3965	2051,4	0,000300	0,128700	62,968	26,846	
4305	2054,7	0,003300	0,132000	65,612	27,534	
4310	2054,8	0,000100	0,132100	65,651	27,555	
4320	2055,2	0,000400	0,132500	65,727	27,639	
4470	2055,2	0,000000	0,132500	66,858	27,639	
4490	2056,1	0,000900	0,133400	67,007	27,826	
4500	2056,3	0,000200	0,133600	67,082	27,868	
5398	2059,9	0,003600	0,137200	73,471	28,619	
5418	2059,9	0,000000	0,137200	73,607	28,619	
5428	2059,9	0,000000	0,137200	73,675	28,619	
5438	2059,7	-0,000200	0,137000	73,743	28,577	
5808	2059,7	0,000000	0,137000	76,210	28,577	
7248	2086,9	0,027200	0,164200	85,135	34,251	

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: CB	início	fim
	16.06.2017; 18:36 horas	7.07.2017
	22,2 ° C	25,9 ° C
Área <input type="text" value="0,004896"/> m ²	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1957,90	0,000	0,000	0,00	0,00	0
1	1961,20	0,003	0,003	1,00	0,67	0,001
3	1963,20	0,002	0,005	1,73	1,08	0,001
5	1964,40	0,001	0,007	2,24	1,33	0,0013
7	1965,60	0,001	0,008	2,65	1,57	0,0014
9	1966,70	0,001	0,009	3,00	1,80	0,0015
11	1967,60	0,001	0,010	3,32	1,98	0,0016
14	1968,80	0,001	0,011	3,74	2,23	0,0017
16	1969,70	0,001	0,012	4,00	2,41	0,0018
19	1970,30	0,001	0,012	4,36	2,53	0,0019
21	1971,00	0,001	0,013	4,58	2,68	0,002
24	1971,70	0,001	0,014	4,90	2,82	0,002
26	1972,30	0,001	0,014	5,10	2,94	0,0021
29	1973,30	0,001	0,015	5,39	3,15	0,0023
31	1973,70	0,000	0,016	5,57	3,23	0,0023
35	1974,60	0,001	0,017	5,92	3,41	0,0024
39	1975,60	0,001	0,018	6,24	3,62	0,0025
41	1976,00	0,000	0,018	6,40	3,70	0,0025
43	1976,5	0,001	0,019	6,56	3,80	0,0026
45	1976,9	0,000	0,019	6,71	3,88	0,0027
47	1977,4	0,001	0,020	6,86	3,98	0,0027
51	1978	0,001	0,020	7,14	4,11	0,0028
56	1978,9	0,001	0,021	7,48	4,29	0,003
59	1979,4	0,001	0,022	7,68	4,39	0,003
61	1979,8	0,000	0,022	7,81	4,47	0,0031
69	1981,2	0,001	0,023	8,31	4,76	0,0033
71	1981,7	0,001	0,024	8,43	4,86	0,0034
76	1982,60	0,001	0,025	8,72	5,04	0,0034
81	1984,00	0,001	0,026	9,00	5,33	0,0035
86	1984,6	0,001	0,027	9,27	5,45	0,0035
91	1985,4	0,001	0,028	9,54	5,62	0,0042
96	1986,1	0,001	0,028	9,80	5,76	0,0039
101	1987	0,001	0,029	10,05	5,94	0,0039
111	1988,4	0,001	0,031	10,54	6,23	0,0041
116	1989,3	0,001	0,031	10,77	6,41	0,0042
121	1989,8	0,001	0,032	11,00	6,52	0,0043
126	1990,5	0,001	0,033	11,22	6,66	0,0045
131	1991,1	0,001	0,033	11,45	6,78	0,0045
136	1992	0,001	0,034	11,66	6,96	0,0045
141	1992,3	0,000	0,034	11,87	7,03	0,0046
146	1993,1	0,001	0,035	12,08	7,19	0,0047
151	1993,5	0,000	0,036	12,29	7,27	0,0048
161	1994,8	0,001	0,037	12,69	7,54	0,005
171	1995,8	0,001	0,038	13,08	7,74	0,0051
181	1996,9	0,001	0,039	13,45	7,97	0,0052
191	1997,8	0,001	0,040	13,82	8,15	0,0054
942	2038	0,040	0,080	30,69	16,36	0,104
950	2038,3	0,000	0,080	30,82	16,42	0,104
970	2039	0,001	0,081	31,14	16,56	0,104
990	2039,8	0,001	0,082	31,46	16,73	0,106
1010	2040,5	0,001	0,083	31,78	16,87	0,109
1030	2041,1	0,001	0,083	32,09	16,99	0,11
1050	2041,6	0,001	0,084	32,40	17,10	0,11
1130	2044,3	0,003	0,086	33,62	17,65	0,112
1140	2044,6	0,000	0,087	33,76	17,71	0,112
1170	2045,5	0,001	0,088	34,21	17,89	0,112
1190	2046,1	0,001	0,088	34,50	18,01	0,114
1210	2047,3	0,001	0,089	34,79	18,26	0,115
1230	2047,8	0,001	0,090	35,07	18,36	0,116
1240	2048,1	0,000	0,090	35,21	18,42	0,116
1250	2048,4	0,000	0,091	35,36	18,48	0,116
1270	2049	0,001	0,091	35,64	18,61	0,12
1290	2049,6	0,001	0,092	35,92	18,73	0,12
1310	2050,4	0,001	0,093	36,19	18,89	0,12

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: CB (Continuação)	início	fim
	16.06.2017; 18:36 horas	7.07.2017
Área 0,004896 m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
1330	2050,9	0,001	0,093	36,47	19,00	0,12
1350	2051,2	0,000	0,093	36,74	19,06	0,12
1370	2051,7	0,001	0,094	37,01	19,16	0,12
1390	2052,4	0,001	0,095	37,28	19,30	0,12
1410	2052,9	0,001	0,095	37,55	19,40	0,123
1430	2053,4	0,001	0,096	37,82	19,51	0,124
1450	2053,7	0,000	0,096	38,08	19,57	0,125
1470	2054,6	0,001	0,097	38,34	19,75	0,125
1490	2055	0,000	0,097	38,60	19,83	0,125
1510	2055,5	0,001	0,098	38,86	19,93	0,125
1530	2055,9	0,000	0,098	39,12	20,02	0,125
1550	2056,4	0,001	0,099	39,37	20,12	0,125
1570	2057	0,001	0,099	39,62	20,24	0,126
1590	2057,5	0,001	0,100	39,87	20,34	0,127
1670	2059,3	0,002	0,101	40,87	20,71	0,13
1690	2059,6	0,000	0,102	41,11	20,77	0,13
1710	2060,4	0,001	0,103	41,35	20,94	0,13
1730	2060,7	0,000	0,103	41,59	21,00	0,13
1850	2063,1	0,002	0,105	43,01	21,49	0,13
1870	2062,3	-0,001	0,104	43,24	21,32	0,13
1890	2064,2	0,002	0,106	43,47	21,71	0,132
2400	2074,7	0,011	0,117	48,99	23,86	0,155
2410	2074,7	0,000	0,117	49,09	23,86	0,155
2430	2075,1	0,000	0,117	49,30	23,94	0,155
2450	2075,4	0,000	0,118	49,50	24,00	0,155
2460	2075,4	0,000	0,118	49,60	24,00	0,155
2490	2076,9	0,002	0,119	49,90	24,31	0,155
2690	2079,4	0,003	0,122	51,87	24,82	0,156
2710	2079,9	0,001	0,122	52,06	24,92	0,16
2770	2080,8	0,001	0,123	52,63	25,10	0,16
2790	2081,1	0,000	0,123	52,82	25,16	0,16
2820	2081,5	0,000	0,124	53,10	25,25	0,16
2850	2081,8	0,000	0,124	53,39	25,31	0,16
2880	2082,1	0,000	0,124	53,67	25,37	0,16
2910	2082,6	0,001	0,125	53,94	25,47	0,16
2940	2083,3	0,001	0,125	54,22	25,61	0,16
2970	2083,5	0,000	0,126	54,50	25,65	0,16
3000	2084,9	0,001	0,127	54,77	25,94	0,16
3860	2096,3	0,011	0,138	62,13	28,27	0,16
3880	2096,7	0,000	0,139	62,29	28,35	0,16
3885	2096,6	0,000	0,139	62,33	28,33	0,16
3895	2096,7	0,000	0,139	62,41	28,35	0,16
3905	2096,9	0,000	0,139	62,49	28,39	0,16
3930	2097,4	0,001	0,140	62,69	28,49	0,16
3945	2097,6	0,000	0,140	62,81	28,53	0,16
3950	2097,6	0,000	0,140	62,85	28,53	0,16
3965	2097,9	0,000	0,140	62,97	28,59	
4305	2102	0,004	0,144	65,61	29,43	
4310	2102,1	0,000	0,144	65,65	29,45	
4320	2102,4	0,000	0,145	65,73	29,51	
4470	2103,3	0,001	0,145	66,86	29,70	
4490	2103,4	0,000	0,146	67,01	29,72	
4500	2103,4	0,000	0,146	67,08	29,72	
5358	2106	0,003	0,148	73,20	30,25	
5418	2106	0,000	0,148	73,61	30,25	
5428	2106	0,000	0,148	73,67	30,25	
5438	2105,8	0,000	0,148	73,74	30,21	
7248	2121,2	0,015	0,163	85,14	33,35	

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: CC	início	fim
	16.06.2017; 18:36 horas	7.07.2017
Área <input type="text" value="0,004004"/> m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1666,20	0,000	0,000	0,00	0,00	0
1	1669,50	0,003	0,003	1,00	0,82	0,008
3	1670,30	0,001	0,004	1,73	1,02	0,012
5	1671,40	0,001	0,005	2,24	1,30	0,015
7	1672,40	0,001	0,006	2,65	1,55	0,015
9	1673,10	0,001	0,007	3,00	1,72	0,015
11	1673,80	0,001	0,008	3,32	1,90	0,016
14	1674,70	0,001	0,009	3,74	2,12	0,017
16	1675,40	0,001	0,009	4,00	2,30	0,017
19	1675,90	0,001	0,010	4,36	2,42	0,019
21	1676,40	0,001	0,010	4,58	2,55	0,02
24	1677,00	0,001	0,011	4,90	2,70	0,02
26	1677,40	0,000	0,011	5,10	2,80	0,021
29	1678,00	0,001	0,012	5,39	2,95	0,022
31	1678,40	0,000	0,012	5,57	3,05	0,022
35	1679,10	0,001	0,013	5,92	3,22	0,028
39	1679,80	0,001	0,014	6,24	3,40	0,029
41	1680,10	0,000	0,014	6,40	3,47	0,03
43	1680,4	0,000	0,014	6,56	3,55	0,025
45	1680,8	0,000	0,015	6,71	3,65	0,025
47	1681,2	0,000	0,015	6,86	3,75	0,025
51	1681,7	0,001	0,016	7,14	3,87	0,026
56	1682,3	0,001	0,016	7,48	4,02	0,027
59	1682,6	0,000	0,016	7,68	4,10	0,028
61	1682,9	0,000	0,017	7,81	4,17	0,029
69	1684	0,001	0,018	8,31	4,45	0,03
71	1684,2	0,000	0,018	8,43	4,50	0,03
76	1685,10	0,001	0,019	8,72	4,72	0,031
81	1685,80	0,001	0,020	9,00	4,90	0,031
86	1686	0,000	0,020	9,27	4,95	0,032
91	1687,1	0,001	0,021	9,54	5,22	0,037
96	1687,6	0,001	0,021	9,80	5,34	0,034
101	1688,2	0,001	0,022	10,05	5,49	0,035
111	1689,2	0,001	0,023	10,54	5,74	0,037
116	1689,8	0,001	0,024	10,77	5,89	0,037
121	1690,3	0,001	0,024	11,00	6,02	0,038
126	1690,9	0,001	0,025	11,22	6,17	0,04
131	1691,3	0,000	0,025	11,45	6,27	0,04
136	1691,8	0,001	0,026	11,66	6,39	0,04
141	1692,2	0,000	0,026	11,87	6,49	0,041
146	1692,6	0,000	0,026	12,08	6,59	0,042
151	1693	0,000	0,027	12,29	6,69	0,043
161	1694	0,001	0,028	12,69	6,94	0,044
171	1694,7	0,001	0,029	13,08	7,12	0,045
181	1695,4	0,001	0,029	13,45	7,29	0,045
191	1696,2	0,001	0,030	13,82	7,49	0,046
942	1727,1	0,031	0,061	30,69	15,21	0,098
950	1727,3	0,000	0,061	30,82	15,26	0,098
970	1727,8	0,001	0,062	31,14	15,38	0,098
990	1728,6	0,001	0,062	31,46	15,58	0,099
1010	1729	0,000	0,063	31,78	15,68	0,1
1030	1729,5	0,001	0,063	32,09	15,81	0,102
1050	1730	0,001	0,064	32,40	15,93	0,102
1130	1732	0,002	0,066	33,62	16,43	0,102
1140	1732,4	0,000	0,066	33,76	16,53	0,102
1170	1733,1	0,001	0,067	34,21	16,71	0,105
1190	1733,6	0,001	0,067	34,50	16,83	0,106
1210	1734,8	0,001	0,069	34,79	17,13	0,109
1230	1735,3	0,001	0,069	35,07	17,26	0,11
1240	1735,6	0,000	0,069	35,21	17,33	0,11
1250	1735,7	0,000	0,070	35,36	17,36	0,112
1270	1736,2	0,001	0,070	35,64	17,48	0,112
1290	1736,7	0,001	0,071	35,92	17,61	0,112
1310	1737,2	0,001	0,071	36,19	17,73	0,115

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: CC (Continuação)	início 16.06.2017; 18:36 horas	fim 7.07.2017
Área <input type="text" value="0,004004"/> m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
1330	1737,7	0,001	0,072	36,47	17,86	0,115
1350	1737,8	0,000	0,072	36,74	17,88	0,115
1370	1738,3	0,001	0,072	37,01	18,01	0,115
1390	1738,8	0,001	0,073	37,28	18,13	0,115
1410	1739,1	0,000	0,073	37,55	18,21	0,115
1430	1739,6	0,001	0,073	37,82	18,33	0,12
1450	1739,9	0,000	0,074	38,08	18,41	0,12
1470	1740,6	0,001	0,074	38,34	18,58	0,12
1490	1740,9	0,000	0,075	38,60	18,66	0,12
1510	1741,2	0,000	0,075	38,86	18,73	0,123
1530	1741,6	0,000	0,075	39,12	18,83	0,123
1550	1742	0,000	0,076	39,37	18,93	0,124
1570	1742,6	0,001	0,076	39,62	19,08	0,123
1590	1742,8	0,000	0,077	39,87	19,13	0,125
1670	1744,2	0,001	0,078	40,87	19,48	0,127
1690	1744,5	0,000	0,078	41,11	19,56	0,125
1710	1745	0,001	0,079	41,35	19,68	0,126
1730	1745,3	0,000	0,079	41,59	19,76	0,126
1850	1747,3	0,002	0,081	43,01	20,25	0,128
1870	1747,5	0,000	0,081	43,24	20,30	0,134
1890	1748,1	0,001	0,082	43,47	20,45	0,134
2400	1756,8	0,009	0,091	48,99	22,63	0,147
2410	1756,8	0,000	0,091	49,09	22,63	0,15
2430	1757,1	0,000	0,091	49,30	22,70	0,15
2450	1757,3	0,000	0,091	49,50	22,75	0,15
2460	1757,4	0,000	0,091	49,60	22,78	0,15
2490	1757,8	0,000	0,092	49,90	22,88	0,152
2690	1760,9	0,003	0,095	51,87	23,65	0,155
2710	1761,1	0,000	0,095	52,06	23,70	0,155
2770	1761,7	0,001	0,096	52,63	23,85	0,16
2790	1762	0,000	0,096	52,82	23,93	0,16
2820	1762,4	0,000	0,096	53,10	24,03	0,16
2850	1762,7	0,000	0,097	53,39	24,10	0,16
2880	1762,9	0,000	0,097	53,67	24,15	0,16
2910	1763,5	0,001	0,097	53,94	24,30	0,16
2940	1763,8	0,000	0,098	54,22	24,38	0,16
2970	1764,2	0,000	0,098	54,50	24,48	0,16
3000	1765,2	0,001	0,099	54,77	24,73	
3860	1775	0,010	0,109	62,13	27,17	
3880	1775,1	0,000	0,109	62,29	27,20	
3885	1775,2	0,000	0,109	62,33	27,22	
3895	1775,2	0,000	0,109	62,41	27,22	
3905	1775,3	0,000	0,109	62,49	27,25	
3930	1775,7	0,000	0,110	62,69	27,35	
3945	1775,8	0,000	0,110	62,81	27,37	
3950	1776	0,000	0,110	62,85	27,42	
3965	1776,1	0,000	0,110	62,97	27,45	
4305	1779,4	0,003	0,113	65,61	28,27	
4310	1779,6	0,000	0,113	65,65	28,32	
4320	1779,7	0,000	0,114	65,73	28,35	
4470	1780,6	0,001	0,114	66,86	28,57	
4490	1780,7	0,000	0,115	67,01	28,60	
4500	1780,9	0,000	0,115	67,08	28,65	
5358	1784,1	0,003	0,118	73,20	29,45	
5418	1784,1	0,000	0,118	73,61	29,45	
5428	1784	0,000	0,118	73,67	29,42	
5438	1784	0,000	0,118	73,74	29,42	
5808	1783,7	0,000	0,118	76,21	29,35	
7248	1784,7	0,001	0,119	85,14	29,60	

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: Adobe "aldeia nova" A	início 17.06.2017; 16:12 horas	fim 20.06.2017
Área <input type="text" value="0,0065"/> m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	2530,60	0,0000	0,00	0,00	0,00	0
5	2544,70	0,0141	0,01	2,24	2,17	0,023
8	2548,30	0,0177	0,02	2,83	2,72	0,03
11	2553,10	0,0048	0,02	3,32	3,46	0,03
14	2556,10	0,0030	0,03	3,74	3,92	0,035
17	2558,70	0,0026	0,03	4,12	4,32	0,036
20	2560,80	0,0021	0,03	4,47	4,65	0,037
23	2562,70	0,0019	0,03	4,80	4,94	0,04
26	2564,10	0,0014	0,03	5,10	5,15	0,04
30	2566,60	0,0025	0,04	5,48	5,54	0,044
33	2569,00	0,0024	0,04	5,74	5,91	0,045
35	2569,80	0,0008	0,04	5,92	6,03	0,045
38	2571,70	0,0019	0,04	6,16	6,32	0,047
40	2572,80	0,0011	0,04	6,32	6,49	0,047
43	2574,10	0,0013	0,04	6,56	6,69	0,048
45	2575,30	0,0012	0,04	6,71	6,88	0,05
48	2576,80	0,0015	0,05	6,93	7,11	0,051
50	2577,60	0,0008	0,05	7,07	7,23	0,054
55	2579,3	0,0017	0,05	7,42	7,49	0,055
60	2582	0,0027	0,05	7,75	7,91	0,055
65	2583,6	0,0016	0,05	8,06	8,15	0,055
70	2585,5	0,0019	0,05	8,37	8,45	0,056
75	2587,5	0,0020	0,06	8,66	8,75	0,059
80	2589,6	0,0021	0,06	8,94	9,08	0,06
85	2591,5	0,0019	0,06	9,22	9,37	0,061
90	2592,4	0,0009	0,06	9,49	9,51	0,063
96	2596	0,0036	0,07	9,80	10,06	0,063
100	2596,80	0,0008	0,07	10,00	10,18	0,065
105	2599,40	0,0026	0,07	10,25	10,58	0,065
110	2600,6	0,0012	0,07	10,49	10,77	0,067
115	2602,3	0,0017	0,07	10,72	11,03	0,067
120	2603,8	0,0015	0,07	10,95	11,26	0,069
130	2607	0,0032	0,08	11,40	11,75	0,07
140	2609,9	0,0029	0,08	11,83	12,20	0,074
150	2612,4	0,0025	0,08	12,25	12,58	0,076
160	2614,3	0,0019	0,08	12,65	12,88	0,077
170	2617,2	0,0029	0,09	13,04	13,32	0,079
180	2619,6	0,0024	0,09	13,42	13,69	0,08
190	2621,9	0,0023	0,09	13,78	14,05	0,083
200	2624	0,0021	0,09	14,14	14,37	0,084
220	2627,9	0,0039	0,10	14,83	14,97	0,09
230	2629,8	0,0019	0,10	15,17	15,26	0,09
240	2630,8	0,0010	0,10	15,49	15,42	0,093
250	2633,3	0,0025	0,10	15,81	15,80	0,093
260	2635	0,0017	0,10	16,12	16,06	0,096
270	2636,8	0,0018	0,11	16,43	16,34	0,101
280	2638,5	0,0017	0,11	16,73	16,60	0,101

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: Adobe "aldeia nova" A (continuação)	início	fim
	17.06.2017; 16:12 horas	20.06.2017
	22,2 ° C	25,9 ° C
Área <input type="text" value="0,0065"/> m ²	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
290	2639,6	0,0011	0,11	17,03	16,77	0,105
300	2641,2	0,0016	0,11	17,32	17,02	0,105
380	2653,2	0,0120	0,12	19,49	18,86	0,113
400	2655,9	0,0027	0,13	20,00	19,28	0,115
420	2659	0,0031	0,13	20,49	19,75	0,115
440	2662	0,0030	0,13	20,98	20,22	0,116
560	2676,3	0,0143	0,15	23,66	22,42	0,13
580	2678,4	0,0021	0,15	24,08	22,74	0,13
600	2680,9	0,0025	0,15	24,49	23,12	0,135
1110	2726,2	0,0453	0,20	33,32	30,09	0,17
1120	2726,6	0,0004	0,20	33,47	30,15	0,17
1140	2727,8	0,0012	0,20	33,76	30,34	0,171
1150	2728,6	0,0008	0,20	33,91	30,46	0,173
1160	2728,9	0,0003	0,20	34,06	30,51	0,175
1170	2729,5	0,0006	0,20	34,21	30,60	0,175
1180	2730,1	0,0006	0,20	34,35	30,69	0,175
1190	2730,8	0,0007	0,20	34,50	30,80	
1200	2731,1	0,0003	0,20	34,64	30,85	
1400	2743,6	0,0125	0,21	37,42	32,77	0,19
1410	2743,4	-0,0002	0,21	37,55	32,74	0,19
1420	2743,9	0,0005	0,21	37,68	32,82	0,19
1430	2744,8	0,0009	0,21	37,82	32,95	0,19
1446	2745,7	0,0009	0,22	38,03	33,09	
1470	2747,1	0,0014	0,22	38,34	33,31	0,191
1500	2748	0,0009	0,22	38,73	33,45	0,193
1530	2749,9	0,0019	0,22	39,12	33,74	0,193
1560	2751,2	0,0013	0,22	39,50	33,94	0,193
1590	2752,5	0,0013	0,22	39,87	34,14	0,193
1620	2753,8	0,0013	0,22	40,25	34,34	0,193
1650	2755	0,0012	0,22	40,62	34,52	0,195
1680	2756,2	0,0012	0,23	40,99	34,71	
1710	2758,6	0,0024	0,23	41,35	35,08	
2570	2779,2	0,0206	0,25	50,70	38,25	
2580	2779,5	0,0003	0,25	50,79	38,29	
2600	2779,7	0,0002	0,25	50,99	38,32	
2610	2779,7	0,0000	0,25	51,09	38,32	
2620	2780,1	0,0004	0,25	51,19	38,38	
2630	2779,9	-0,0002	0,25	51,28	38,35	
2640	2779,7	-0,0002	0,25	51,38	38,32	
2670	2779,9	0,0002	0,25	51,67	38,35	
2890	2781,3	0,0014	0,25	53,76	38,57	
2920	2781,9	0,0006	0,25	54,04	38,66	
2993	2781,2	-0,0007	0,25	54,71	38,55	
3010	2780,6	-0,0006	0,25	54,86	38,46	
3060	2781	0,0004	0,25	55,32	38,52	
3180	2781,3	0,0003	0,25	56,39	38,57	
4092	2782,7	0,0014	0,25	63,97	38,78	
4132	2782,8	0,0001	0,25	64,28	38,80	
5982	2794,8	0,0120	0,26	77,34	40,65	

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: Adobe "aldeia nova" B	início 17.06.2017; 16:12 horas	fim 20.06.2017
Área <input type="text" value="0,007"/> m ²	22,2 ° C 42 % HR	25,9 ° C 77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	2538,30	0,000	0,00	0,00	0,00	0
5	2549,30	0,011	0,01	2,24	1,57	0,024
8	2553,30	0,004	0,02	2,83	2,14	0,025
11	2556,80	0,004	0,02	3,32	2,64	0,03
14	2559,50	0,003	0,02	3,74	3,03	0,032
17	2562,10	0,003	0,02	4,12	3,40	0,033
20	2563,70	0,002	0,03	4,47	3,63	0,035
23	2565,70	0,002	0,03	4,80	3,91	0,038
26	2566,90	0,001	0,03	5,10	4,09	0,039
30	2569,00	0,002	0,03	5,48	4,39	0,039
33	2571,40	0,002	0,03	5,74	4,73	0,039
35	2572,40	0,001	0,03	5,92	4,87	0,039
38	2574,10	0,002	0,04	6,16	5,11	0,041
40	2575,30	0,001	0,04	6,32	5,29	0,041
43	2576,40	0,001	0,04	6,56	5,44	0,043
45	2577,50	0,001	0,04	6,71	5,60	0,043
48	2578,90	0,001	0,04	6,93	5,80	0,044
50	2579,50	0,001	0,04	7,07	5,89	0,045
55	2581,2	0,002	0,04	7,42	6,13	0,045
60	2583,4	0,002	0,05	7,75	6,44	0,045
65	2585	0,002	0,05	8,06	6,67	0,048
70	2586,6	0,002	0,05	8,37	6,90	0,049
75	2588,3	0,002	0,05	8,66	7,14	0,05
80	2590,1	0,002	0,05	8,94	7,40	0,05
85	2591,7	0,002	0,05	9,22	7,63	0,051
90	2593	0,001	0,05	9,49	7,81	0,053
96	2595,8	0,003	0,06	9,80	8,21	0,053
100	2597,20	0,001	0,06	10,00	8,41	0,054
105	2599,00	0,002	0,06	10,25	8,67	0,054
110	2600,4	0,001	0,06	10,49	8,87	0,054
115	2602	0,002	0,06	10,72	9,10	0,056
120	2603,4	0,001	0,07	10,95	9,30	0,056
130	2606,3	0,003	0,07	11,40	9,71	0,058
140	2609,4	0,003	0,07	11,83	10,16	0,062
150	2611,5	0,002	0,07	12,25	10,46	0,064
160	2614,3	0,003	0,08	12,65	10,86	0,064
170	2616,1	0,002	0,08	13,04	11,11	0,067
180	2618,1	0,002	0,08	13,42	11,40	0,07
190	2620	0,002	0,08	13,78	11,67	0,071
200	2622,5	0,003	0,08	14,14	12,03	0,074
220	2626,4	0,004	0,09	14,83	12,59	0,078
230	2628,3	0,002	0,09	15,17	12,86	0,078
240	2630	0,002	0,09	15,49	13,10	0,08
250	2631,9	0,002	0,09	15,81	13,37	0,08
260	2633,5	0,002	0,10	16,12	13,60	0,083
270	2634,9	0,001	0,10	16,43	13,80	0,085
280	2636,4	0,002	0,10	16,73	14,01	0,085

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: Adobe "aldeia nova" B (continuação)	início 17.06.2017; 16:12 horas	fim 20.06.2017
Área <input type="text" value="0,007"/> m ²	22,2 ° C 42 % HR	25,9 ° C 77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
290	2637,5	0,001	0,10	17,03	14,17	0,085
300	2639,1	0,002	0,10	17,32	14,40	0,088
380	2650,5	0,011	0,11	19,49	16,03	0,096
400	2653,1	0,003	0,11	20,00	16,40	0,098
420	2656,5	0,003	0,12	20,49	16,89	0,1
440	2659,7	0,003	0,12	20,98	17,34	0,102
560	2676,2	0,017	0,14	23,66	19,70	0,11
580	2679,2	0,003	0,14	24,08	20,13	0,11
600	2681,6	0,002	0,14	24,49	20,47	0,117
1110	2731,6	0,050	0,19	33,32	27,61	0,157
1120	2732,3	0,001	0,19	33,47	27,71	0,158
1140	2733,7	0,001	0,20	33,76	27,91	0,16
1150	2734,6	0,001	0,20	33,91	28,04	0,16
1160	2735,2	0,001	0,20	34,06	28,13	0,162
1170	2735,9	0,001	0,20	34,21	28,23	0,162
1180	2736,3	0,000	0,20	34,35	28,29	0,162
1190	2736,9	0,001	0,20	34,50	28,37	0,162
1200	2737,5	0,001	0,20	34,64	28,46	0,163
1400	2750,7	0,013	0,21	37,42	30,34	0,175
1410	2750,7	0,000	0,21	37,55	30,34	0,175
1420	2751,4	0,001	0,21	37,68	30,44	0,175
1430	2752	0,001	0,21	37,82	30,53	0,175
1446	2753	0,001	0,21	38,03	30,67	0,175
1470	2754,5	0,002	0,22	38,34	30,89	0,18
1500	2756,1	0,002	0,22	38,73	31,11	0,18
1530	2757,5	0,001	0,22	39,12	31,31	0,181
1560	2759	0,002	0,22	39,50	31,53	0,181
1590	2760,5	0,002	0,22	39,87	31,74	0,181
1620	2762,2	0,002	0,22	40,25	31,99	0,183
1650	2763,7	0,002	0,23	40,62	32,20	0,19
1680	2765,3	0,002	0,23	40,99	32,43	
1710	2767,3	0,002	0,23	41,35	32,71	
2570	2794,7	0,027	0,26	50,70	36,63	
2580	2794,9	0,000	0,26	50,79	36,66	
2600	2796	0,001	0,26	50,99	36,81	
2610	2795,2	-0,001	0,26	51,09	36,70	
2620	2795,9	0,001	0,26	51,19	36,80	
2630	2795,7	0,000	0,26	51,28	36,77	
2640	2796	0,000	0,26	51,38	36,81	
2670	2796,4	0,000	0,26	51,67	36,87	
2890	2797,9	0,002	0,26	53,76	37,09	
2920	2798,9	0,001	0,26	54,04	37,23	
2993	2799,1	0,000	0,26	54,71	37,26	
3010	2798,5	-0,001	0,26	54,86	37,17	
3060	2798,8	0,000	0,26	55,32	37,21	
3180	2799,3	0,001	0,26	56,39	37,29	
4092	2800,8	0,002	0,26	63,97	37,50	
4132	2801,1	0,000	0,26	64,28	37,54	
4542	2800,6	-0,001	0,26	67,39	37,47	0,2
5982	2812	0,011	0,27	77,34	39,10	

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: Adobe "aldeia nova" C	início 17.06.2017; 16:12 horas	fim 20.06.2017
Área <input type="text" value="0,007"/> m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	2728,10	0,000	0,00	0,00	0,00	0
5	2739,90	0,012	0,01	2,24	1,69	0,02
8	2744,10	0,004	0,02	2,83	2,29	0,025
11	2748,40	0,004	0,02	3,32	2,90	0,025
14	2751,20	0,003	0,02	3,74	3,30	0,025
17	2754,00	0,003	0,03	4,12	3,70	0,025
20	2756,20	0,002	0,03	4,47	4,01	0,03
23	2758,60	0,002	0,03	4,80	4,36	0,03
26	2760,00	0,001	0,03	5,10	4,56	0,03
30	2763,40	0,003	0,04	5,48	5,04	0,032
33	2765,20	0,002	0,04	5,74	5,30	0,035
35	2767,00	0,002	0,04	5,92	5,56	0,035
38	2768,30	0,001	0,04	6,16	5,74	0,037
40	2769,30	0,001	0,04	6,32	5,89	0,037
43	2770,70	0,001	0,04	6,56	6,09	0,039
45	2771,70	0,001	0,04	6,71	6,23	0,039
48	2772,90	0,001	0,04	6,93	6,40	0,04
50	2773,60	0,001	0,05	7,07	6,50	0,04
55	2775,3	0,002	0,05	7,42	6,74	0,043
60	2778	0,003	0,05	7,75	7,13	0,045
65	2779,3	0,001	0,05	8,06	7,31	0,045
70	2781,3	0,002	0,05	8,37	7,60	0,048
75	2783	0,002	0,05	8,66	7,84	0,048
80	2784,5	0,002	0,06	8,94	8,06	0,05
85	2786,2	0,002	0,06	9,22	8,30	0,051
90	2787,8	0,002	0,06	9,49	8,53	0,051
96	2790,5	0,003	0,06	9,80	8,91	0,051
100	2792,00	0,002	0,06	10,00	9,13	0,051
105	2793,80	0,002	0,07	10,25	9,39	0,055
110	2795,5	0,002	0,07	10,49	9,63	0,056
115	2797,2	0,002	0,07	10,72	9,87	0,056
120	2798,5	0,001	0,07	10,95	10,06	0,058
130	2801,8	0,003	0,07	11,40	10,53	0,06
140	2805,1	0,003	0,08	11,83	11,00	0,06
150	2807,5	0,002	0,08	12,25	11,34	0,064
160	2810	0,003	0,08	12,65	11,70	0,065
170	2812,5	0,003	0,08	13,04	12,06	0,067
180	2814,9	0,002	0,09	13,42	12,40	0,069
190	2817,8	0,003	0,09	13,78	12,81	0,073
200	2819,9	0,002	0,09	14,14	13,11	0,073
220	2824,3	0,004	0,10	14,83	13,74	0,075
230	2826	0,002	0,10	15,17	13,99	0,075
240	2827,9	0,002	0,10	15,49	14,26	0,077
250	2830,2	0,002	0,10	15,81	14,59	0,08
260	2832	0,002	0,10	16,12	14,84	0,08
270	2833,7	0,002	0,11	16,43	15,09	0,082
280	2835,5	0,002	0,11	16,73	15,34	0,085

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: Adobe "aldeia nova" C (continuação)	início 17.06.2017; 16:12 horas	fim 20.06.2017
Área <input type="text" value="0,007"/> m ²	22,2 ° C 42 % HR	25,9 ° C 77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
290	2837	0,002	0,11	17,03	15,56	0,085
300	2838,4	0,001	0,11	17,32	15,76	0,085
380	2851,5	0,013	0,12	19,49	17,63	0,1
400	2854,2	0,003	0,13	20,00	18,01	0,1
420	2858,3	0,004	0,13	20,49	18,60	0,103
440	2861,3	0,003	0,13	20,98	19,03	0,109
560	2878,3	0,017	0,15	23,66	21,46	0,117
580	2881	0,003	0,15	24,08	21,84	0,122
600	2883,8	0,003	0,16	24,49	22,24	0,123
1110	2934,1	0,050	0,21	33,32	29,43	0,163
1120	2934,9	0,001	0,21	33,47	29,54	0,165
1140	2936,7	0,002	0,21	33,76	29,80	0,167
1150	2937,2	0,001	0,21	33,91	29,87	0,167
1160	2938,1	0,001	0,21	34,06	30,00	0,167
1170	2938,7	0,001	0,21	34,21	30,09	0,167
1180	2939,5	0,001	0,21	34,35	30,20	0,167
1190	2940	0,001	0,21	34,50	30,27	0,167
1200	2940,8	0,001	0,21	34,64	30,39	0,177
1400	2954,4	0,014	0,23	37,42	32,33	0,182
1410	2954,7	0,000	0,23	37,55	32,37	0,185
1420	2955,5	0,001	0,23	37,68	32,49	0,186
1430	2955,9	0,000	0,23	37,82	32,54	0,186
1446	2957,2	0,001	0,23	38,03	32,73	0,187
1470	2958,4	0,001	0,23	38,34	32,90	0,187
1500	2959,9	0,002	0,23	38,73	33,11	0,19
1530	2961,9	0,002	0,23	39,12	33,40	0,19
1560	2963,4	0,002	0,24	39,50	33,61	0,19
1590	2964,9	0,002	0,24	39,87	33,83	0,19
1620	2967	0,002	0,24	40,25	34,13	0,193
1650	2968,5	0,002	0,24	40,62	34,34	0,2
1680	2970,2	0,002	0,24	40,99	34,59	0,2
1710	2972,3	0,002	0,24	41,35	34,89	0,2
2570	2999,7	0,027	0,27	50,70	38,80	0,2
2580	2999,6	0,000	0,27	50,79	38,79	
2600	2999,8	0,000	0,27	50,99	38,81	
2610	3000,1	0,000	0,27	51,09	38,86	
2620	2999,8	0,000	0,27	51,19	38,81	
2630	3000,3	0,001	0,27	51,28	38,89	
2640	3000,1	0,000	0,27	51,38	38,86	
2670	3000	0,000	0,27	51,67	38,84	
2890	3002,2	0,002	0,27	53,76	39,16	
2920	3002,4	0,000	0,27	54,04	39,19	
2993	3002,1	0,000	0,27	54,71	39,14	
3010	3002	0,000	0,27	54,86	39,13	
3060	3001,3	-0,001	0,27	55,32	39,03	
3180	3001,7	0,000	0,27	56,39	39,09	
4092	3003,5	0,002	0,28	63,97	39,34	
4132	3003,1	0,000	0,28	64,28	39,29	
4542	3003,3	0,000	0,28	67,39	39,31	
5982	3004,3	0,001	0,28	77,34	39,46	

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: Adobe "duarte lemos" A	início	fim
	18.06.2017; 16:07 horas	21.06.2017
Área <input type="text" value="0,006"/> m ²	22,2 ° C	25,9 ° C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	2712,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1	2730,60	0,02	0,02	1,00	3,10	0,03
5	2742,20	0,01	0,03	2,24	5,03	0,038
8	2747,40	0,01	0,04	2,83	5,90	0,04
11	2751,00	0,00	0,04	3,32	6,50	0,045
15	2755,80	0,00	0,04	3,87	7,30	0,048
20	2758,80	0,00	0,05	4,47	7,80	0,05
25	2762,50	0,00	0,05	5,00	8,42	0,054
30	2765,30	0,00	0,05	5,48	8,88	0,055
35	2768,50	0,00	0,06	5,92	9,42	0,058
40	2770,90	0,00	0,06	6,32	9,82	0,06
45	2772,90	0,00	0,06	6,71	10,15	0,065
50	2775,60	0,00	0,06	7,07	10,60	0,065
55	2776,80	0,00	0,06	7,42	10,80	0,065
60	2779,00	0,00	0,07	7,75	11,17	0,065
65	2781,40	0,00	0,07	8,06	11,57	0,071
70	2783,00	0,00	0,07	8,37	11,83	0,071
75	2784,80	0,00	0,07	8,66	12,13	0,073
80	2786,8	0,00	0,07	8,94	12,47	0,073
85	2788,3	0,00	0,08	9,22	12,72	0,074
90	2789,9	0,00	0,08	9,49	12,98	0,075
95	2791,5	0,00	0,08	9,75	13,25	0,08
100	2792,8	0,00	0,08	10,00	13,47	0,08
105	2794,1	0,00	0,08	10,25	13,68	0,08
110	2795,5	0,00	0,08	10,49	13,92	0,08
115	2797	0,00	0,09	10,72	14,17	0,08
120	2798,6	0,00	0,09	10,95	14,43	0,082
130	2802,30	0,00	0,09	11,40	15,05	0,085
140	2805,00	0,00	0,09	11,83	15,50	0,087
150	2808,3	0,00	0,10	12,25	16,05	0,09
160	2811,4	0,00	0,10	12,65	16,57	0,09
170	2813,6	0,00	0,10	13,04	16,93	0,095
180	2816,4	0,00	0,10	13,42	17,40	0,098
190	2818,7	0,00	0,11	13,78	17,78	0,103
200	2821,5	0,00	0,11	14,14	18,25	0,105
210	2823,6	0,00	0,11	14,49	18,60	0,105
220	2825,7	0,00	0,11	14,83	18,95	0,107
230	2828	0,00	0,12	15,17	19,33	0,109
240	2829,7	0,00	0,12	15,49	19,62	0,11
250	2832,8	0,00	0,12	15,81	20,13	0,11
260	2834,9	0,00	0,12	16,12	20,48	0,113
270	2836,9	0,00	0,12	16,43	20,82	0,115
1120	2945,2	0,11	0,23	33,47	38,87	0,2
1140	2946,9	0,00	0,23	33,76	39,15	0,203
1150	2945,9	0,00	0,23	33,91	38,98	0,203
1160	2946,6	0,00	0,23	34,06	39,10	0,203
1170	2947,6	0,00	0,24	34,21	39,27	0,205
1180	2948,8	0,00	0,24	34,35	39,47	0,205
1190	2949,7	0,00	0,24	34,50	39,62	0,207
1200	2950,4	0,00	0,24	34,64	39,73	0,207
1210	2951,6	0,00	0,24	34,79	39,93	0,207
1220	2951,9	0,00	0,24	34,93	39,98	0,207
1230	2953,2	0,00	0,24	35,07	40,20	0,207
1240	2953,9	0,00	0,24	35,21	40,32	0,207
1440	2968,9	0,01	0,26	37,95	42,82	0,22
1490	2974,7	0,01	0,26	38,60	43,78	0,222
1500	2975,6	0,00	0,26	38,73	43,93	0,223
1510	2976,5	0,00	0,26	38,86	44,08	0,225
1520	2976,5	0,00	0,26	38,99	44,08	0,225
1550	2981,4	0,00	0,27	39,37	44,90	0,225
1560	2982,2	0,00	0,27	39,50	45,03	0,225
1564	2980,5	0,00	0,27	39,55	44,75	0,23
1570	2980,4	0,00	0,27	39,62	44,73	0,223
1580	2981,2	0,00	0,27	39,75	44,87	0,23
1600	2977,8	0,00	0,27	40,00	44,30	0,232
1620	2979,7	0,00	0,27	40,25	44,62	0,232
1740	2987,4	0,01	0,28	41,71	45,90	0,237
1760	2988,6	0,00	0,28	41,95	46,10	0,239
1770	2989	0,00	0,28	42,07	46,17	0,24
2910	3027	0,04	0,32	53,94	52,50	0,259
2920	3026,9	0,00	0,31	54,04	52,48	
2950	3027,1	0,00	0,32	54,31	52,52	
2960	3027,2	0,00	0,32	54,41	52,53	
2970	3027	0,00	0,32	54,50	52,50	
2990	3027,9	0,00	0,32	54,68	52,65	
3048	3028,6	0,00	0,32	55,21	52,77	
3068	3028,7	0,00	0,32	55,39	52,78	
3370	3031,6	0,00	0,32	58,05	53,27	
4810	3038,9	0,01	0,33	69,35	54,48	

FOLHA DE CÁLCULO
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: **Adobe "duarte lemos" B** início fim
 18.06.2017; 16:07 horas 21.06.2017
 22,2 ° C 25,9 ° C
 Área 0,00605 m² 42 % HR 77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	2900,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1	2916,00	0,02	0,02	1,00	2,60	0,04
5	2926,90	0,01	0,03	2,24	4,40	0,045
8	2931,90	0,01	0,03	2,83	5,22	0,046
11	2935,60	0,00	0,04	3,32	5,83	0,05
15	2939,70	0,00	0,04	3,87	6,51	0,05
20	2942,60	0,00	0,04	4,47	6,99	0,055
25	2946,20	0,00	0,05	5,00	7,59	0,057
30	2949,20	0,00	0,05	5,48	8,08	0,059
35	2952,20	0,00	0,05	5,92	8,58	0,061
40	2954,50	0,00	0,05	6,32	8,96	0,064
45	2956,50	0,00	0,06	6,71	9,29	0,065
50	2958,30	0,00	0,06	7,07	9,59	0,067
55	2960,50	0,00	0,06	7,42	9,95	0,07
60	2962,50	0,00	0,06	7,75	10,28	0,07
65	2964,90	0,00	0,06	8,06	10,68	0,071
70	2966,10	0,00	0,07	8,37	10,88	0,073
75	2968,00	0,00	0,07	8,66	11,19	0,074
80	2969,9	0,00	0,07	8,94	11,50	0,076
85	2971,5	0,00	0,07	9,22	11,77	0,077
90	2973,1	0,00	0,07	9,49	12,03	0,077
95	2975	0,00	0,07	9,75	12,35	0,077
100	2976,2	0,00	0,08	10,00	12,55	0,077
105	2978,1	0,00	0,08	10,25	12,86	0,077
110	2979,6	0,00	0,08	10,49	13,11	0,08
115	2981,3	0,00	0,08	10,72	13,39	0,081
120	2983,4	0,00	0,08	10,95	13,74	0,085
130	2986,80	0,00	0,09	11,40	14,30	0,085
140	2990,30	0,00	0,09	11,83	14,88	0,087
150	2993,7	0,00	0,09	12,25	15,44	0,09
160	2996,9	0,00	0,10	12,65	15,97	0,093
170	2999,4	0,00	0,10	13,04	16,38	0,095
180	3001,7	0,00	0,10	13,42	16,76	0,1
190	3004,4	0,00	0,10	13,78	17,21	0,1
200	3007,1	0,00	0,11	14,14	17,65	0,103
210	3009,1	0,00	0,11	14,49	17,98	0,105
220	3011,7	0,00	0,11	14,83	18,41	0,11
230	3013,6	0,00	0,11	15,17	18,73	0,113
240	3015,5	0,00	0,12	15,49	19,04	0,115
250	3018,7	0,00	0,12	15,81	19,57	0,115
260	3021	0,00	0,12	16,12	19,95	0,126
270	3022,6	0,00	0,12	16,43	20,21	0,12
1120	3125,6	0,10	0,23	33,47	37,24	0,2
1140	3127	0,00	0,23	33,76	37,47	0,2
1150	3128,3	0,00	0,23	33,91	37,69	0,201
1160	3129	0,00	0,23	34,06	37,80	0,202
1170	3129,9	0,00	0,23	34,21	37,95	0,202
1180	3131,1	0,00	0,23	34,35	38,15	0,203
1190	3131,9	0,00	0,23	34,50	38,28	0,204
1200	3133,3	0,00	0,23	34,64	38,51	0,205
1210	3133,9	0,00	0,23	34,79	38,61	0,206
1220	3134,9	0,00	0,23	34,93	38,78	0,206
1230	3135,7	0,00	0,24	35,07	38,91	0,206
1240	3135,9	0,00	0,24	35,21	38,94	0,207
1440	3150,8	0,01	0,25	37,95	41,40	0,207
1490	3156,4	0,01	0,26	38,60	42,33	0,214
1500	3157,1	0,00	0,26	38,73	42,45	0,223
1510	3157,8	0,00	0,26	38,86	42,56	0,225
1520	3158,6	0,00	0,26	38,99	42,69	0,225
1550	3162,7	0,00	0,26	39,37	43,37	0,23
1560	3163,3	0,00	0,26	39,50	43,47	0,231
1564	3163,2	0,00	0,26	39,55	43,45	0,232
1570	3163,4	0,00	0,26	39,62	43,49	0,233
1580	3164,3	0,00	0,26	39,75	43,64	0,232
1600	3164,9	0,00	0,26	40,00	43,74	0,232
1620	3166,2	0,00	0,27	40,25	43,95	0,232
1740	3174,1	0,01	0,27	41,71	45,26	0,241
1760	3175,2	0,00	0,27	41,95	45,44	0,24
1770	3175,6	0,00	0,28	42,07	45,50	0,241
2910	3215,5	0,04	0,32	53,94	52,10	0,266
2920	3216,6	0,00	0,32	54,04	52,28	0,267
2950	3217,8	0,00	0,32	54,31	52,48	0,267
2960	3217,8	0,00	0,32	54,41	52,48	0,267
2970	3218,4	0,00	0,32	54,50	52,58	0,267
2990	3219,2	0,00	0,32	54,68	52,71	0,268
3048	3220,9	0,00	0,32	55,21	52,99	
3068	3221,7	0,00	0,32	55,39	53,12	
3370	3230,9	0,01	0,33	58,05	54,64	
4810	3261,4	0,03	0,36	69,35	59,69	

FOLHA DE CÁLCULO

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18

Ref.: Adobe "duarte lemos" C	início 18.06.2017; 16:07 horas	fim 21.06.2017
Área <input type="text" value="0,00539"/> m ²	22,2 °C	25,9 °C
	42 % HR	77 % HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	2377,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1	2395,20	0,02	0,02	1,00	3,34	0,025
5	2403,20	0,01	0,03	2,24	4,82	0,03
8	2406,80	0,00	0,03	2,83	5,49	0,04
11	2409,10	0,00	0,03	3,32	5,92	0,04
15	2412,60	0,00	0,04	3,87	6,57	0,043
20	2415,00	0,00	0,04	4,47	7,01	0,045
25	2417,90	0,00	0,04	5,00	7,55	0,047
30	2420,10	0,00	0,04	5,48	7,96	0,052
35	2422,30	0,00	0,05	5,92	8,37	0,055
40	2424,20	0,00	0,05	6,32	8,72	0,055
45	2426,10	0,00	0,05	6,71	9,07	0,055
50	2427,70	0,00	0,05	7,07	9,37	0,055
55	2429,40	0,00	0,05	7,42	9,68	0,06
60	2431,00	0,00	0,05	7,75	9,98	0,06
65	2432,80	0,00	0,06	8,06	10,32	0,06
70	2434,60	0,00	0,06	8,37	10,65	0,06
75	2435,50	0,00	0,06	8,66	10,82	0,065
80	2437,2	0,00	0,06	8,94	11,13	0,065
85	2438,4	0,00	0,06	9,22	11,35	0,065
90	2439,4	0,00	0,06	9,49	11,54	0,065
95	2441,4	0,00	0,06	9,75	11,91	0,067
100	2442,5	0,00	0,07	10,00	12,12	0,07
105	2443,7	0,00	0,07	10,25	12,34	0,07
110	2445	0,00	0,07	10,49	12,58	0,07
115	2446,2	0,00	0,07	10,72	12,80	0,072
120	2447,8	0,00	0,07	10,95	13,10	0,075
130	2450,90	0,00	0,07	11,40	13,67	0,078
140	2453,70	0,00	0,08	11,83	14,19	0,081
150	2456,4	0,00	0,08	12,25	14,69	0,083
160	2459,3	0,00	0,08	12,65	15,23	0,085
170	2461,6	0,00	0,08	13,04	15,66	0,088
180	2464,1	0,00	0,09	13,42	16,12	0,093
190	2466,4	0,00	0,09	13,78	16,55	0,095
200	2468,6	0,00	0,09	14,14	16,96	0,095
210	2470,8	0,00	0,09	14,49	17,37	0,1
220	2473,1	0,00	0,10	14,83	17,79	0,102
230	2474,9	0,00	0,10	15,17	18,13	0,103
240	2476,7	0,00	0,10	15,49	18,46	0,105
250	2479,7	0,00	0,10	15,81	19,02	0,105
260	2481,5	0,00	0,10	16,12	19,35	0,106
270	2483,3	0,00	0,11	16,43	19,68	0,113
1120	2582,4	0,10	0,21	33,47	38,07	0,201
1140	2584,3	0,00	0,21	33,76	38,42	0,202
1150	2585,1	0,00	0,21	33,91	38,57	0,203
1160	2585,3	0,00	0,21	34,06	38,61	0,205
1170	2587	0,00	0,21	34,21	38,92	0,205
1180	2588,1	0,00	0,21	34,35	39,13	0,205
1190	2588,9	0,00	0,21	34,50	39,28	0,205
1200	2589,8	0,00	0,21	34,64	39,44	0,21
1210	2590,6	0,00	0,21	34,79	39,59	0,21
1220	2591,5	0,00	0,21	34,93	39,76	0,21
1230	2592,4	0,00	0,22	35,07	39,93	0,21
1240	2592,7	0,00	0,22	35,21	39,98	0,212
1440	2607,1	0,01	0,23	37,95	42,65	0,223
1490	2612,8	0,01	0,24	38,60	43,71	0,228
1500	2613,4	0,00	0,24	38,73	43,82	0,23
1510	2614	0,00	0,24	38,86	43,93	0,23
1520	2614,4	0,00	0,24	38,99	44,01	0,23
1550	2619,1	0,00	0,24	39,37	44,88	0,235
1560	2619,5	0,00	0,24	39,50	44,95	0,236
1564	2620	0,00	0,24	39,55	45,05	0,236
1570	2620,1	0,00	0,24	39,62	45,06	0,236
1580	2620,4	0,00	0,24	39,75	45,12	0,236
1600	2621,1	0,00	0,24	40,00	45,25	0,236
1620	2623	0,00	0,25	40,25	45,60	0,237
1740	2630,7	0,01	0,25	41,71	47,03	0,245
1760	2631,4	0,00	0,25	41,95	47,16	0,245
1770	2632	0,00	0,25	42,07	47,27	0,245
2910	2670	0,04	0,29	53,94	54,32	0,261
2920	2670,8	0,00	0,29	54,04	54,47	
2950	2671,5	0,00	0,29	54,31	54,60	
2960	2671,7	0,00	0,29	54,41	54,64	
2970	2671,8	0,00	0,29	54,50	54,66	
4810	2691,2	0,02	0,31	69,35	58,26	

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: **GA** início 15.06.2017; 11:00 horas fim 7.07.2017
 22,2 ° C 25,9 ° C
 Área 0,00423 m² 50% HR 68% HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1574,00	0	0	0,000	0,000	0
5	1574,40	0,0004	0,0004	2,24	0,09	0,015
10	1574,50	0,0001	0,0005	3,16	0,12	0,018
25	1574,65	0,0002	0,0007	5,00	0,15	0,02
31	1574,70	0,0000	0,0007	5,57	0,17	0,021
36	1574,80	0,0001	0,0008	6,00	0,19	0,022
39	1574,80	0,0000	0,0008	6,24	0,19	0,022
44	1574,80	0,0000	0,0008	6,63	0,19	0,022
90	1575,10	0,0003	0,0011	9,49	0,26	0,022
245	1575,3	0,0002	0,0013	15,65	0,31	0,022
285	1575,5	0,0002	0,0015	16,88	0,35	0,022
300	1575,5	0,0000	0,0015	17,32	0,35	0,022
1440	1575,5	0,0000	0,0015	37,95	0,35	0,022
1474	1575,5	0,0000	0,0015	38,39	0,35	0,022
1492	1575,6	0,0001	0,0016	38,63	0,38	0,022
1514	1575,6	0,0000	0,0016	38,91	0,38	0,022
2280	1575,9	0,0003	0,0019	47,75	0,45	0,022
2359	1575,8	-0,0001	0,0018	48,57	0,43	0,022
2376	1576	0,0002	0,0020	48,74	0,47	0,022
2387	1576,1	0,0001	0,0021	48,86	0,50	0,022
2557	1576,3	0,0002	0,0023	50,57	0,54	0,022
3827	3038,9	1,4626	1,4649	61,86	346,31	1,022

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: **GB** início 15.06.2017; 11:00 horas fim 7.07.2017
 22,2 ° C 25,9 ° C
 Área 0,00414 m² 50% HR 68% HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	√t (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1686,70	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0
5	1687,20	0,0005	0,0005	2,24	0,12	0,02
10	1687,30	0,0001	0,0006	3,16	0,14	0,02
25	1687,60	0,0003	0,0009	5,00	0,22	0,02
31	1687,60	0,0000	0,0009	5,57	0,22	0,021
36	1687,60	0,0000	0,0009	6,00	0,22	0,022
39	1687,70	0,0001	0,0010	6,24	0,24	0,022
44	1687,70	0,0000	0,0010	6,63	0,24	0,022
90	1688,00	0,0003	0,0013	9,49	0,31	0,022
245	1688,1	0,0001	0,0014	15,65	0,34	0,022
285	1688,2	0,0001	0,0015	16,88	0,36	0,022
300	1688,2	0,0000	0,0015	17,32	0,36	0,022
1440	1688,4	0,0002	0,0017	37,95	0,41	0,022
1474	1688,5	0,0001	0,0018	38,39	0,43	0,022
1492	1688,5	0,0000	0,0018	38,63	0,43	0,022
1514	1688,5	0,0000	0,0018	38,91	0,43	0,022
2280	1688,7	0,0002	0,0020	47,75	0,48	0,022
2359	1688,9	0,0002	0,0022	48,57	0,53	0,022
2376	1688,7	-0,0002	0,0020	48,74	0,48	0,022
2387	1688,7	0,0000	0,0020	48,86	0,48	0,022
2557	1688,9	0,0002	0,0022	50,57	0,53	0,022
3827	3261,4	1,5725	1,5747	61,86	380,36	1,022

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: GC	início	fim
	15.06.2017; 11:00 horas	7.07.2017
	22,2 ° C	25,9 ° C
Área <input type="text" value="0,00414"/> m ²	50% HR	68% HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1648,30	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0
5	1648,60	0,0003	0,0003	2,24	0,07	0,014
10	1648,70	0,0001	0,0004	3,16	0,10	0,015
25	1648,90	0,0002	0,0006	5,00	0,14	0,021
31	1648,90	0,0000	0,0006	5,57	0,14	0,022
36	1649,00	0,0001	0,0007	6,00	0,17	0,022
39	1649,00	0,0000	0,0007	6,24	0,17	0,022
44	1649,00	0,0000	0,0007	6,63	0,17	0,022
90	1649,10	0,0001	0,0008	9,49	0,19	0,022
245	1649,5	0,0004	0,0012	15,65	0,29	0,022
285	1649,5	0,0000	0,0012	16,88	0,29	0,022
300	1649,5	0,0000	0,0012	17,32	0,29	0,022
1440	1649,5	0,0000	0,0012	37,95	0,29	0,022
1474	1649,5	0,0000	0,0012	38,39	0,29	0,022
1492	1649,7	0,0002	0,0014	38,63	0,34	0,022
1514	1649,6	-0,0001	0,0013	38,91	0,31	0,022
2280	1649,9	0,0003	0,0016	47,75	0,39	0,022
2359	1650,1	0,0002	0,0018	48,57	0,43	0,022
2376	1649,9	-0,0002	0,0016	48,74	0,39	0,022
2387	1650,1	0,0002	0,0018	48,86	0,43	0,022
2557	1650,3	0,0002	0,0020	50,57	0,48	0,022
3827	2691,2	1,0409	1,0429	61,86	251,91	1,022

FOLHA DE CÁLCULO**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - EN 1015-18**

Ref.: **GA (Interior Câmara climática)** início 15.06.2017; 11:00 horas fim 7.07.2017
 22,2 ° C 25,9 ° C
 Área 0,00423 m² 50% HR 68% HR

tempo (min)	massa (g)	Δm (kg)	Δm cum. (kg)	\sqrt{t} (min ^{1/2})	Δm cum. (kg/m ²)	Altura (m)
0	1574,20	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0
1	1574,40	0,0002	0,0002	1,00	0,05	0,01
3	1574,40	0,0000	0,0002	1,73	0,05	0,015
5	1574,50	0,0001	0,0003	2,24	0,07	0,015
7	1574,60	0,0001	0,0004	2,65	0,09	0,016
9	1574,50	-0,0001	0,0003	3,00	0,07	0,017
11	1574,50	0,0000	0,0003	3,32	0,07	0,017
13	1574,60	0,0001	0,0004	3,61	0,09	0,017
15	1574,60	0,0000	0,0004	3,87	0,09	0,018
17	1574,60	0,0000	0,0004	4,12	0,09	0,02
19	1574,6	0,0000	0,0004	4,36	0,09	0,02
21	1574,7	0,0001	0,0005	4,58	0,12	0,022
23	1574,7	0,0000	0,0005	4,80	0,12	0,022
29	1574,7	0,0000	0,0005	5,39	0,12	0,022
31	1574,8	0,0001	0,0006	5,57	0,14	0,02
33	1574,8	0,0000	0,0006	5,74	0,14	0,02
35	1574,8	0,0000	0,0006	5,92	0,14	0,02
39	1574,7	-0,0001	0,0005	6,24	0,12	0,02
41	1574,7	0,0000	0,0005	6,40	0,12	0,02
43	1574,8	0,0001	0,0006	6,56	0,14	0,02
45	1574,8	0,0000	0,0006	6,71	0,14	0,02
47	1574,7	-0,0001	0,0005	6,86	0,12	0,02
49	1574,8	0,0001	0,0006	7,00	0,14	0,02
51	1574,8	0,0000	0,0006	7,14	0,14	0,02
53	1574,9	0,0001	0,0007	7,28	0,17	0,022
55	1574,8	-0,0001	0,0006	7,42	0,14	0,022
57	1574,9	0,0001	0,0007	7,55	0,17	0,022
59	1574,9	0,0000	0,0007	7,68	0,17	0,022
61	1574,9	0,0000	0,0007	7,81	0,17	0,022
63	1574,9	0,0000	0,0007	7,94	0,17	0,023
65	1574,9	0,0000	0,0007	8,06	0,17	0,023
75	1574,9	0,0000	0,0007	8,66	0,17	0,023
85	1574,9	0,0000	0,0007	9,22	0,17	0,023
95	1574,9	0,0000	0,0007	9,75	0,17	0,023
105	1575	0,0001	0,0008	10,25	0,19	0,023
135	1575	0,0000	0,0008	11,62	0,19	0,023
235	1575,2	0,0002	0,0010	15,33	0,24	0,023
265	1575,2	0,0000	0,0010	16,28	0,24	0,024
325	1575,2	0,0000	0,0010	18,03	0,24	0,025
1815	1576,1	0,0009	0,0019	42,60	0,45	0,025
3265	1576,2	0,0001	0,0020	57,14	0,47	0,025

ANEXO A2 – Resultados do ensaio de absorção de água pela AFNOR

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE - AFNOR

Material	Amostra	Tempo adoptado na Metodologia	Dados decorrentes do ensaio de absorção capilar				C (Kg/mm ² .hora ^{0,5})	Média C (Kg/mm ² .hora ^{0,5})	Desvio Padrão	C. V. (%)
			área provete (mm ²)	tempo (horas)	M _{sat} (kg)	M _{seca} (kg)				
Tijolo	A	1	5,5	125,5	3,3427	3,0196	5,24	5,24	0,13	2,41
	B		5,5	125,5	3,3127	2,9991	5,09			
	C		5,5	125,5	3,3548	3,0221	5,40			
	A	2	5,5	101	3,3183	3,0196	5,40	5,37	0,15	2,77
	B		5,5	101	3,2847	2,9991	5,17			
	C		5,5	101	3,3275	3,0221	5,53			
	A	3	5,5	1,5	3,047	3,0196	4,07	4,74	0,49	10,24
	B		5,5	1,5	3,0325	2,9991	4,96			
	C		5,5	1,5	3,0571	3,0221	5,20			
Granito A	A	1	Não medido							
	B		Não medido							
	C		Não medido							
	A	2	4,23	1,05	1,5749	1,574	0,21	0,17	0,04	22,54
	B		4,14	1,05	1,6878	1,687	0,19			
	C		4,14	1,05	1,649	1,6485	0,12			
	A	2	4,23	0,6	1,5748	1,574	0,24	0,20	0,04	18,67
	B		4,14	0,6	1,6876	1,687	0,19			
	C		4,14	0,6	1,649	1,6485	0,16			
	A	3	4,23	1,5	1,5751	1,574	0,21	0,18	0,04	23,42
	B		4,14	1,5	1,688	1,687	0,20			
	C		4,14	1,5	1,6491	1,6485	0,12			
Granito A (câmara)	A	1	Não medido							
	A	2	4,23	1,05	1,5752	1,574	0,28	0,39		
	A	3	4,23	0,6	1,5748	1,574	0,24	0,2		
Calcário	A	1	4,794	75	2,0563	1,9193	3,30	3,40	0,08	2,44
	B		4,896	75	2,1034	1,9549	3,50			
	C		4,004	75	1,7809	1,6633	3,39			
	A	2	4,794	50	2,0384	1,9193	3,51	3,62	0,10	2,76
	B		4,896	50	2,0849	1,9549	3,76			
	C		4,004	50	1,7652	1,6633	3,60			
	A	3	4,794	1,5	1,9467	1,9193	4,67	4,87	0,17	3,53
	B		4,896	1,5	1,9854	1,9549	5,09			
	C		4,004	1,5	1,6871	1,6633	4,85			
adobe "aldeia nova"	A	1	6,5	44	2,7797	2,4982	6,53	6,38	0,18	2,87
	B		7	44	2,796	2,5119	6,12			
	C		7	44	3,0001	2,6992	6,48			
	A	2	6,5	28,5	2,7586	2,4982	7,50	7,22	0,28	3,90
	B		7	28,5	2,7673	2,5119	6,83			
	C		7	28,5	2,9723	2,6992	7,31			
	A	3	6,5	1,5	2,5924	2,4982	11,83	10,54	0,98	9,30
	B		7	1,5	2,593	2,5119	9,46			
	C		7	1,5	2,7878	2,6992	10,33			
adobe "duarte lemos"	A	1	6	44	3,018	2,6601	8,99	8,79	0,14	1,63
	B		6,05	44	3,20605	2,8583	8,67			
	C		5,39	44	2,661	2,3492	8,72			
	A	2	6	29,5	2,989	2,6601	10,09	9,80	0,20	2,09
	B		6,05	29,5	3,1756	2,8583	9,66			
	C		5,39	29,5	2,632	2,3492	9,66			
	A	3	6	1,5	2,7899	2,6601	17,66	15,61	1,63	10,48
	B		6,05	1,5	2,9731	2,8583	15,49			
	C		5,39	1,5	2,4394	2,3492	13,66			

ANEXO A3 – Determinação dos raios capilares dos materiais de construção

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE
DETERMINAÇÃO DO RAIÓ MÉDIO DOS POROS DOS PROVETES A, B E C DOS MATERIAIS

Tijolos		Granito		Calcário		Adobe "aldeia nova"		Adobe "duarte lemos"	
Tempo	Raio dos poros (m)	Tempo	Raio dos poros (m)	Tempo	Raio dos poros	Tempo	Raio dos poros	Tempo	Raio dos poros (m)
0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,00	2,1266E-07	5	2,4234E-07	1	7,418E-08	5	3,3E-07	1	4,7E-07
10,00	2,4728E-07	10	2,6212E-07	3	1,088E-07	8	4E-07	5	5,59E-07
15,00	2,5717E-07	25	3,0168E-07	5	1,35E-07	11	4,2E-07	8	6,23E-07
20,00	2,819E-07	31	3,1652E-07	7	1,355E-07	14	4,5E-07	11	6,68E-07
25,00	3,1652E-07	36	3,2641E-07	9	1,375E-07	17	4,6E-07	15	6,97E-07
30,00	3,4619E-07	39	3,2641E-07	11	1,429E-07	20	5E-07	20	7,42E-07
35,00	3,6103E-07	44	3,2641E-07	14	1,484E-07	23	5,3E-07	25	7,81E-07
40,00	3,907E-07	90	3,2641E-07	16	1,672E-07	26	5,4E-07	30	8,21E-07
45,00	4,0554E-07	245	3,2641E-07	19	1,775E-07	30	5,7E-07	35	8,61E-07
50,00	4,1049E-07	285	3,2641E-07	21	1,83E-07	33	5,9E-07	40	8,85E-07
55,00	4,2532E-07	300	3,2641E-07	24	1,879E-07	35	5,9E-07	45	9,15E-07
60,00	4,3274E-07	1440	3,2641E-07	26	1,934E-07	38	6,2E-07	50	9,25E-07
65,00	4,4511E-07	1474	3,2641E-07	29	2,043E-07	40	6,2E-07	55	9,64E-07
70,00	4,5994E-07	1492	3,2641E-07	31	2,043E-07	43	6,4E-07	60	9,64E-07
80,00	4,7478E-07	1514	3,2641E-07	35	2,443E-07	45	6,5E-07	65	9,99E-07
90,00	4,8467E-07	2280	3,2641E-07	39	2,498E-07	48	6,7E-07	70	1,01E-06
100,00	5,094E-07	2359	3,2641E-07	41	2,596E-07	50	6,9E-07	75	1,05E-06
110,00	5,3413E-07	2376	3,2641E-07	43	2,404E-07	55	7,1E-07	80	1,06E-06
120,00	5,4896E-07	2387	3,2641E-07	45	2,409E-07	60	7,2E-07	85	1,07E-06
130,00	5,5886E-07	2557	3,2641E-07	47	2,409E-07	65	7,3E-07	90	1,07E-06
135,00	5,6875E-07			51	2,512E-07	70	7,6E-07	95	1,11E-06
140,00	5,6875E-07			56	2,621E-07	75	7,8E-07	100	1,12E-06
150,00	5,9842E-07			59	2,72E-07	80	7,9E-07	105	1,12E-06
160,00	6,0337E-07			61	2,774E-07	85	8,1E-07	110	1,14E-06
170,00	6,182E-07			69	2,883E-07	90	8,3E-07	115	1,15E-06
180,00	6,3304E-07			71	2,938E-07	96	8,3E-07	120	1,2E-06
190,00	6,3799E-07			76	3,037E-07	100	8,4E-07	130	1,23E-06
200,00	6,4293E-07			81	3,091E-07	105	8,6E-07	140	1,26E-06
210,00	6,6766E-07			86	3,14E-07	110	8,8E-07	150	1,3E-06
220,00	6,9733E-07			91	3,521E-07	115	8,9E-07	160	1,33E-06
230,00	7,3195E-07			96	3,457E-07	120	9,1E-07	170	1,37E-06
240,00	7,4184E-07			101	3,556E-07	130	9,3E-07	180	1,44E-06
250,00	7,5668E-07			111	3,714E-07	140	9,7E-07	190	1,47E-06
260,00	7,7152E-07			116	3,719E-07	150	1E-06	200	1,5E-06
270,00	7,7646E-07			121	3,823E-07	160	1E-06	210	1,53E-06
280,00	7,8635E-07			126	3,932E-07	170	1,1E-06	220	1,58E-06
290,00	7,9625E-07			131	3,981E-07	180	1,1E-06	230	1,61E-06
300,00	8,2097E-07			136	4,031E-07	190	1,1E-06	240	1,63E-06
310,00	8,3086E-07			141	4,135E-07	200	1,1E-06	250	1,63E-06
320,00	8,4076E-07			146	4,238E-07	220	1,2E-06	260	1,71E-06
330,00	8,6054E-07			151	4,342E-07	230	1,2E-06	270	1,72E-06
340,00	8,8527E-07			161	4,402E-07	240	1,2E-06	1120	2,97E-06
350,00	8,9516E-07			171	4,505E-07	250	1,3E-06	1140	2,99E-06
360,00	9,2978E-07			181	4,56E-07	260	1,3E-06	1150	3E-06
370,00	9,4461E-07			191	4,669E-07	270	1,3E-06	1160	3,02E-06
380,00	9,644E-07			942	1,454E-06	280	1,3E-06	1170	3,03E-06
390,00	9,6934E-07			950	1,464E-06	290	1,4E-06	1180	3,03E-06
400,00	9,7923E-07			970	1,464E-06	300	1,4E-06	1190	3,05E-06
410,00	9,8912E-07			990	1,484E-06	380	1,5E-06	1200	3,08E-06
420,00	9,9407E-07			1010	1,503E-06	400	1,5E-06	1210	3,08E-06
430,00	1,0188E-06			1030	1,528E-06	420	1,6E-06	1220	3,08E-06
440,00	1,0287E-06			1050	1,523E-06	440	1,6E-06	1230	3,08E-06
450,00	1,0435E-06			1130	1,553E-06	560	1,8E-06	1240	3,1E-06
460,00	1,0534E-06			1140	1,558E-06	580	1,8E-06	1440	3,21E-06
470,00	1,0633E-06			1170	1,578E-06	600	1,9E-06	1490	3,28E-06
480,00	1,0633E-06			1190	1,602E-06	1110	2,4E-06	1500	3,34E-06
490,00	1,0781E-06			1210	1,627E-06	1120	2,4E-06	1510	3,36E-06
500,00	1,093E-06			1230	1,642E-06	1140	2,5E-06	1520	3,36E-06
510,00	1,1177E-06			1240	1,642E-06	1150	2,5E-06	1550	3,41E-06
1.090,00	1,5579E-06			1250	1,652E-06	1160	2,5E-06	1560	3,42E-06
1.110,00	1,5678E-06			1270	1,672E-06	1170	2,5E-06	1564	3,45E-06
1.120,00	1,5777E-06			1290	1,677E-06	1180	2,5E-06	1570	3,42E-06

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE
DETERMINAÇÃO DO RAIÃO MÉDIO DOS POROS DOS PROVETES A, B E C DOS MATERIAIS

Tijolos		Granito		Calcário		Adobe "aldeia nova"		Adobe "duarte lemos"	
Tempo	Raio dos poros (m)	Tempo	Raio dos poros (m)	Tempo	Raio dos poros	Tempo	Raio dos poros	Tempo	Raio dos poros (m)
1.130,00	1,5826E-06			1310	1,706E-06	1190	2,5E-06	1580	3,45E-06
1.140,00	1,5875E-06			1330	1,706E-06	1200	2,6E-06	1600	3,46E-06
1.150,00	1,5875E-06			1350	1,716E-06	1400	2,7E-06	1620	3,47E-06
1.160,00	1,5925E-06			1370	1,716E-06	1410	2,7E-06	1740	3,58E-06
1.170,00	1,5974E-06			1390	1,716E-06	1420	2,7E-06	1760	3,58E-06
1.180,00	1,5974E-06			1410	1,746E-06	1430	2,7E-06	1770	3,59E-06
1.190,00	1,6024E-06			1430	1,78E-06	1446	2,7E-06	2910	3,89E-06
1.400,00	1,7062E-06			1450	1,785E-06	1470	2,8E-06		
1.420,00	1,7112E-06			1470	1,785E-06	1500	2,8E-06		
1.430,00	1,726E-06			1490	1,79E-06	1530	2,8E-06		
1.440,00	1,726E-06			1510	1,81E-06	1560	2,8E-06		
1.450,00	1,731E-06			1530	1,82E-06	1590	2,8E-06		
1.460,00	1,7359E-06			1550	1,815E-06	1620	2,8E-06		
1.470,00	1,7409E-06			1570	1,815E-06	1650	2,9E-06		
1.750,00	1,8546E-06			1590	1,835E-06				
1.770,00	1,8546E-06			1670	1,869E-06				
1.790,00	1,8694E-06			1690	1,865E-06				
1.810,00	1,8793E-06			1710	1,869E-06				
1.830,00	1,9041E-06			1730	1,884E-06				
1.850,00	1,9189E-06			1850	1,894E-06				
2.590,00	2,2008E-06			1870	1,934E-06				
2.610,00	2,2008E-06			1890	1,949E-06				
2.630,00	2,2008E-06			2400	2,211E-06				
2.650,00	2,2008E-06			2410	2,226E-06				
2.660,00	2,2008E-06			2430	2,235E-06				
2.680,00	2,2008E-06			2450	2,24E-06				
2.690,00	2,1761E-06			2460	2,25E-06				
2.700,00	2,1761E-06			2490	2,26E-06				
2.860,00	2,2503E-06			2690	2,29E-06				
2.890,00	2,2503E-06			2710	2,324E-06				
2.900,00	2,2602E-06			2770	2,349E-06				
2.920,00	2,2651E-06			2790	2,349E-06				
2.940,00	2,27E-06			2820	2,349E-06				
2.960,00	2,27E-06			2850	2,349E-06				
2.980,00	2,275E-06			2880	2,349E-06				
3.020,00	2,3146E-06			2910	2,349E-06				
3.040,00	2,3244E-06			2940	2,349E-06				
3.060,00	2,3244E-06			2970	2,349E-06				
3.080,00	2,3591E-06								
3.100,00	2,3591E-06								
3.120,00	2,3591E-06								
3.140,00	2,3591E-06								
3.160,00	2,3739E-06								
3.170,00	2,3739E-06								
3.205,00	2,3986E-06								
3.210,00	2,3986E-06								
3.220,00	2,3986E-06								
3.960,00	2,7053E-06								
3.980,00	2,7053E-06								
4.000,00	2,7102E-06								
4.020,00	2,7201E-06								
4.040,00	2,7349E-06								
4.060,00	2,7448E-06								
4.080,00	2,7597E-06								
4.160,00	2,7695E-06								
4.220,00	2,7597E-06								
4.240,00	2,7448E-06								
4.260,00	2,7448E-06								
4.270,00	2,7448E-06								
4.280,00	2,7448E-06								
4.290,00	2,7448E-06								
4.320,00	2,7448E-06								
4.380,00	2,7794E-06								
4.400,00	2,8042E-06								
4.420,00	2,819E-06								
4.440,00	2,819E-06								
4.460,00	2,8437E-06								
4.480,00	2,8437E-06								
4.500,00	2,8437E-06								
4.520,00	2,8437E-06								
4.540,00	2,8437E-06								

ANEXO A4 – Teor Volúmico de absorção de água



Amostra de Tijolo A, B e C

FOLHA DE CÁLCULO

TEOR VOLÚMICO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

N.º de Imagem Infravermelha	Material						Teor de água Média Tijolo (kg/m ³)	Tempo de exposição (min.)
	Tijolo A		Tijolo B		Tijolo C			
	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)		
W 0 min	3,0166	-2,38	3,0042	4,05	3,0266	3,57	1,75	0
W10 min	3,03	5,08	3,01	11,51	3,04	11,83	9,47	10
IV 158	3,03	11,04	3,02	16,51	3,04	17,07	14,87	25
IV 169	3,04	13,82	3,02	18,98	3,05	20,56	17,78	36,4
IV 170	3,04	13,82	3,02	18,98	3,05	20,56	17,78	36,4
W 90 min	3,05	21,75	3,03	26,52	3,06	27,79	25,35	90
IV 201	3,15	106,55	3,13	101,15	3,16	109,88	105,86	1413
IV 296	3,31	228,98	3,27	218,98	3,32	234,54	227,50	5728,37
W cap	3,34	256,53	3,31	248,99	3,35	264,15	256,56	7530
IV 370	3,34	255,97	3,31	248,83	3,35	263,52	256,11	7683,4
IV 420	3,34	256,61	3,31	249,07	3,36	267,17	257,62	8687,8
W sat	3,36	269,63	3,36	285,43	3,39	289,48	281,51	> 11565

Amostra de Calcário A, B e C

FOLHA DE CÁLCULO

TEOR VOLÚMICO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

N.º de Imagem Infravermelha	Material						Teor de água Média Tijolo (kg/m ³)	Tempo de exposição (min)
	Calcário A		Calcário B		Calcário C			
	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)		
W 0 min	1,92	3,92	1,96	3,50	1,67	3,20	3,54	0
W 10 min	1,93	13,48	1,97	12,96	1,67	10,71	12,38	10
IV 252	1,95	29,96	1,98	33,96	1,69	24,39	29,44	80
w 90 min	1,95	31,46	1,99	35,48	1,69	26,16	31,03	90
IV 271	2,00	93,92	2,04	103,99	1,73	76,26	91,39	1149
IV 306	2,04	133,92	2,08	148,11	1,76	109,71	130,58	2855
IV 363	2,05	153,39	2,10	168,07	1,78	125,60	149,02	4251
W 4500 min	2,06	157,89	2,10	173,32	1,78	129,79	153,67	4500
IV 419	2,06	158,69	2,11	178,10	1,79	134,32	157,04	5371
W sat	2,09	193,15	2,12	194,09	1,81	163,56	183,60	≥ 8271 min

Amostra de Granito A, B e C

FOLHA DE CÁLCULO

TEOR VOLÚMICO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

N.º de Imagem Infravermelha	Material						Teor volúmico Granito (kg/m ³)	Tempo de exposição (min)
	Granito A		Granito B		Granito C			
	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)	Peso provete (kg)	Teor de água (kg/m ³)		
w 0 min	1,57	0,00	1,69	0,00	1,65	0,00	0,00	0
W 10 min	1,57	0,81	1,69	0,50	1,65	0,33	0,55	10
IV 188	1,57	0,81	1,69	0,50	1,65	0,33	0,55	12
W 36 min	1,57	1,30	1,69	0,99	1,65	0,83	1,04	36
W 90 min	1,58	1,78	1,69	1,65	1,65	0,99	1,48	90
W cap inicial	1,58	2,10	1,69	1,82	1,65	1,65	1,86	245
IV 234	1,58	2,43	1,69	2,32	1,65	1,65	2,13	1452
IV 245	1,58	2,59	1,69	2,48	1,65	1,82	2,30	1749
IV 267	1,58	3,72	1,69	3,13	1,65	2,98	3,28	3082
IV 368	1,58	3,89	1,69	3,13	1,65	3,06	3,36	6239
IV 463 (Imersão)	1,59	17,84	1,69	11,58	1,66	11,58	13,67	7984
IV 617 (imersão)	1,58	10,04	1,69	11,58	1,66	11,58	11,07	9424

Amostra de Adobe "aldeia nova" A, B e C

FOLHA DE CÁLCULO

TEOR VOLÚMICO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

N.º de Imagem Infravermelha	Teor de água (kg/m ³)						Teor volúmico adobe "aldeia nova" (kg/m ³)	Tempo de exposição (min)
	Adobe "aldeia nova" A		Adobe "aldeia nova" B		Adobe "aldeia nova" C			
	Peso provete	(kg/m ³)	Peso provete	(kg/m ³)	Peso provete	(kg/m ³)		
W 0 min (IV 270)	2,53	25,56	2,54	20,31	2,73	21,69	22,52	0
W 10 min	2,55	43,23	2,56	33,92	2,75	36,62	37,93	10
W 90 min	2,59	74,32	2,59	62,38	2,79	66,49	67,73	90
IV 272	2,61	88,13	2,61	75,00	2,81	79,47	80,87	143
IV 308	2,75	199,05	2,76	189,69	2,93	170,58	186,44	1543
W cap	2,78	222,09	2,80	218,54	3,00	225,82	222,15	2640
IV 377	2,78	223,27	2,80	220,92	3,00	226,87	223,69	3081
W sat	2,79	234,00	2,81	230,85	3,02	239,70	234,85	4642
IV 461 (Imersão total)								4641,16

Amostra de Adobe "duarte lemos" A, B e C

FOLHA DE CÁLCULO

TEOR VOLÚMICO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

N.º de Imagem Infravermelha	Teor de água (kg/m ³)						Teor volúmico adobe "duarte lemos" (kg/m ³)	Tempo de exposição (min)
	Adobe "duarte lemos" A		Adobe "duarte lemos" B		Adobe "duarte lemos" C			
	Peso provete	(kg/m ³)	Peso provete	(kg/m ³)	Peso provete	(kg/m ³)		
W 0 min	2,71	33,27	2,90	25,24	2,38	20,13	26,22	0
W 10 min	2,75	57,63	2,94	46,10	2,41	43,00	48,91	10
W 90 min	2,79	83,21	2,97	69,00	2,44	64,86	72,36	90
IV 311	2,81	97,69	3,00	83,67	2,46	80,04	87,13	165
W 1770 min	2,99	210,83	3,18	190,71	2,63	203,36	201,64	1770
W cap	3,02	229,42	3,21	209,02	2,66	224,22	220,89	2640
W sat	3,04	242,82	3,26	242,28	2,69	245,93	243,68	

ANEXO A5 – Leituras Multiespectrais



Amostra de Tijolo A, antes do ensaio de absorção de água

FOLHA DE CÁLCULO

LEITURAS ESPECTRAIS COM EQUIPAMENTO MULTIESPECTRAL

Comprimento de onda (nm)	1 Elemento	2 Elemento	3 Elemento	4 Elemento	5 Elemento	6 Elemento	7 Elemento	8 Elemento	Média	Máx
370	0,21	0,21	0,21	0,23	0,23	0,24	0,28	0,25	0,23	0,28
380	0,22	0,22	0,23	0,25	0,25	0,29	0,26	0,24	0,25	0,29
390	0,31	0,3	0,3	0,26	0,25	0,26	0,24	0,22	0,27	0,31
400	0,21	0,2	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13	0,17	0,21
425	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
450	0,11	0,1	0,11	0,11	0,11	0,1	0,09	0,09	0,10	0,11
475	0,14	0,14	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17
500	0,17	0,16	0,18	0,17	0,19	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19
525	0,18	0,18	0,19	0,18	0,2	0,18	0,19	0,19	0,19	0,2
550	0,24	0,24	0,25	0,25	0,27	0,23	0,25	0,24	0,25	0,27
575	0,35	0,35	0,36	0,36	0,38	0,34	0,35	0,35	0,36	0,38
600	0,47	0,47	0,47	0,48	0,51	0,47	0,47	0,47	0,48	0,51
625	0,53	0,53	0,53	0,52	0,54	0,5	0,5	0,51	0,52	0,54
650	0,53	0,52	0,53	0,53	0,56	0,52	0,53	0,52	0,53	0,56
675	0,52	0,52	0,53	0,53	0,55	0,51	0,51	0,52	0,52	0,55
700	0,59	0,59	0,59	0,59	0,6	0,56	0,56	0,57	0,58	0,6
750	0,62	0,62	0,61	0,62	0,63	0,59	0,6	0,6	0,61	0,63
800	0,55	0,55	0,56	0,56	0,59	0,55	0,55	0,56	0,56	0,59
850	0,53	0,52	0,53	0,54	0,56	0,53	0,53	0,53	0,53	0,56
900	0,53	0,53	0,53	0,53	0,56	0,52	0,52	0,52	0,53	0,56
950	0,55	0,55	0,55	0,55	0,58	0,54	0,54	0,54	0,55	0,58
1000	0,6	0,6	0,59	0,6	0,63	0,59	0,59	0,6	0,60	0,63
1050	0,66	0,65	0,65	0,65	0,67	0,63	0,63	0,64	0,65	0,67
1100	0,68	0,69	0,68	0,69	0,71	0,67	0,68	0,68	0,69	0,71

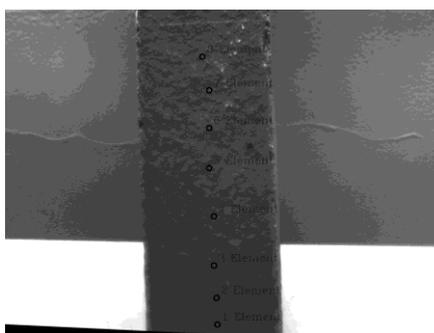


Figura 115 Imagem resultante, antes do ensaio de absorção de água

LEITURAS ESPECTRAIS COM EQUIPAMENTO MULTIESPECTRAL

Comprimento de onda (nm)	1 Elemento	2 Elemento	3 Elemento	4 Elemento	5 Elemento	6 Elemento	7 Elemento	Média	Máx
370									
380	0,22	0,23	0,26	0,25	0,24	0,22	0,23	0,24	0,26
390	0,25	0,27	0,29	0,26	0,22	0,22	0,22	0,25	0,29
400	0,19	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,15	0,18	0,19
425	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	0,11	0,12
450	0,1	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1	0,09	0,10	0,11
475	0,13	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,16
500	0,13	0,15	0,17	0,15	0,16	0,16	0,14	0,15	0,17
525	0,14	0,18	0,19	0,18	0,19	0,19	0,15	0,17	0,19
550	0,18	0,24	0,26	0,25	0,25	0,25	0,2	0,23	0,26
575	0,25	0,35	0,37	0,35	0,36	0,36	0,26	0,33	0,37
600	0,35	0,49	0,5	0,47	0,48	0,48	0,34	0,44	0,50
625	0,39	0,54	0,55	0,53	0,54	0,54	0,38	0,50	0,55
650	0,38	0,52	0,53	0,52	0,53	0,53	0,38	0,48	0,53
675	0,39	0,54	0,55	0,54	0,55	0,55	0,39	0,50	0,55
700	0,41	0,56	0,57	0,56	0,57	0,57	0,42	0,52	0,57
750	0,45	0,58	0,59	0,58	0,6	0,59	0,45	0,55	0,60
800	0,43	0,57	0,58	0,56	0,57	0,56	0,45	0,53	0,58
850	0,4	0,53	0,55	0,53	0,54	0,54	0,48	0,51	0,55
900	0,41	0,55	0,56	0,54	0,53	0,53	0,51	0,52	0,56
950	0,41	0,55	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,53	0,56
1000	0,47	0,6	0,62	0,6	0,61	0,62	0,62	0,59	0,62
1050	0,53	0,64	0,66	0,65	0,65	0,64	0,65	0,63	0,66
1100	0,57	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,68	0,66	0,68

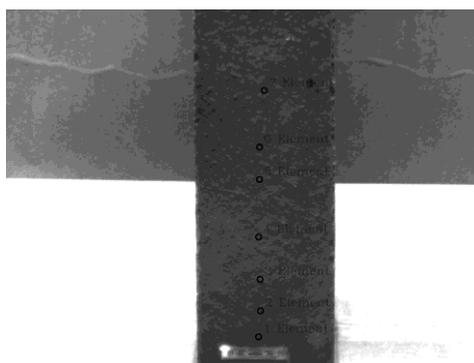


Figura A.5.2 Imagem resultante, aos 280 minutos

LEITURAS ESPECTRAIS COM EQUIPAMENTO MULTIESPECTRAL

Comprimento de onda (nm)	1 Elemento	2 Elemento	3 Elemento	4 Elemento	5 Elemento	6 Elemento	7 Elemento	8 Elemento	Média	Máx
370	0,34	0,33	0,34	0,34	0,34	0,31	0,32	0,31	0,33	0,3
380	0,32	0,31	0,31	0,31	0,32	0,31	0,32	0,3	0,31	0,3
390	0,31	0,3	0,28	0,28	0,25	0,26	0,26	0,24	0,27	0,3
400	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,2
425	0,2	0,2	0,19	0,19	0,19	0,2	0,2	0,24	0,20	0,2
450	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,1
475	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,12	0,1
500	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,12	0,14	0,14	0,12	0,1
525	0,12	0,13	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,17	0,14	0,2
550	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,19	0,21	0,24	0,19	0,2
575	0,23	0,23	0,24	0,23	0,26	0,27	0,31	0,35	0,27	0,4
600	0,32	0,31	0,34	0,32	0,37	0,39	0,46	0,49	0,38	0,5
625	0,36	0,35	0,38	0,35	0,4	0,43	0,48	0,53	0,41	0,5
650	0,38	0,38	0,39	0,38	0,41	0,43	0,48	0,55	0,43	0,6
675	0,37	0,38	0,38	0,37	0,4	0,44	0,49	0,52	0,42	0,5
700	0,41	0,42	0,41	0,42	0,43	0,48	0,54	0,58	0,46	0,6
750	0,43	0,43	0,45	0,42	0,48	0,5	0,56	0,6	0,48	0,6
800	0,4	0,4	0,42	0,4	0,44	0,47	0,53	0,56	0,45	0,6
850	0,36	0,37	0,37	0,37	0,4	0,44	0,5	0,52	0,42	0,5
900	0,35	0,35	0,37	0,35	0,4	0,43	0,49	0,53	0,41	0,5
950	0,36	0,37	0,38	0,37	0,42	0,45	0,52	0,55	0,43	0,6
1000	0,43	0,44	0,44	0,44	0,48	0,51	0,57	0,6	0,49	0,6
1050	0,49	0,5	0,5	0,5	0,53	0,57	0,63	0,62	0,54	0,6
1100	0,46	0,49	0,49	0,49	0,53	0,56	0,58	0,62	0,53	0,6

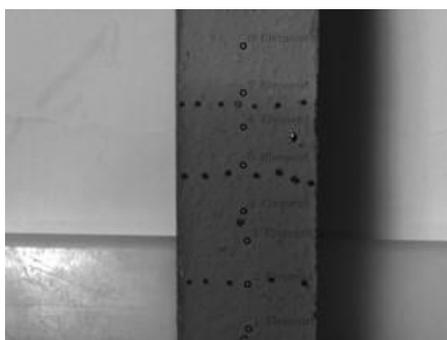


Figura A.5.3 Imagem resultante, aos 2315 minutos