

Ana Margarida Alves Guerreiro Cantante Marques

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil



**Contributo de sistemas de revestimento com
base em cortiça para o equilíbrio higrométrico
do ambiente interior**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Reabilitação de Edifícios

Orientador: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues,
Professora Associada FCT-UNL

Co-orientador: Professora Doutora Ana Margarida Armada Brás,
Professora Associada Liverpool John Moores University, UK

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida, Professor
Associado FCT-UNL

Arguente: Doutor Fernando Jorge Fernandes Jorne, Bolseiro Pós-Doutoramento
FCT-UNL

Vogal: Professora Doutora Ana Margarida Armada Brás, Professora Associada
Liverpool John Moores University, UK



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2017

“Copyright” Ana Margarida Alves Guerreiro Cantante Marques, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Dando por finalizada mais uma etapa na minha vida, gostaria de agradecer a todas pessoas que de forma directa ou indirecta contribuíram para a realização desta dissertação. Sem a ajuda e a confiança destas em mim, os momentos mais difíceis ao longo da realização desta não fossem tão facilmente ultrapassados.

Em primeiro lugar, quero prestar um especial agradecimento à Professora Doutora Paulina Faria, orientadora deste trabalho, por toda a sua disponibilidade, auxílio prestado, assim como todos os conhecimentos transmitidos. Sem a sua exigência e o seu amplo conhecimento esta etapa não teria sido tão enriquecedora e desafiante.

Quero agradecer à Professora Doutora Ana Brás, coorientadora da dissertação, por todo o apoio, disponibilidade e simpatia demonstrados desde o primeiro dia. Mesmo longe, estava sempre disponível para esclarecer qualquer dúvida. Os seus conhecimentos foram igualmente enriquecedores ao longo de toda esta etapa bem como a sua ajuda na explicação e compreensão dos resultados, foram essenciais.

Ao Engenheiro Vítor Silva, por todo o acompanhamento e ajuda prestada ao longo de toda a campanha experimental, por todos os conselhos e conhecimentos que muito contribuíram para o bom desenvolvimento desta dissertação. Não menos importante, agradeço também por toda a sua simpatia e amizade. Foi uma pessoa muito importante na realização de todos os ensaios mostrando-se sempre disponível para o que fosse necessário.

Quero agradecer à minha mãe e minha melhor amiga, Maria Antónia Marques, pela educação que me deu, por todos os valores que me transmitiu e, nesta situação em particular, por todo o apoio e compreensão ao longo destes meses. Pelos conselhos que me deu e por toda a força e incentivo. À minha mãe, o maior obrigado.

Aos meus colegas de curso e amigos, Sara Reis, João Donato, João Barcelos e José Luís Terrasso pela amizade, companheirismo e por todos os momentos vividos ao longo desta jornada. E às minhas amigas Catarina Esperancinha, Catarina Belo, Maria Inês Falcão e Maria do Carmo Felino por todo o apoio ao longo desta etapa e por estarem sempre presentes nos bons e maus momentos da minha vida. Sempre dispostas a ouvir e a dar uma palavra de incentivo quando uma pessoa pensa que já não é capaz.

Não menos importante, quero agradecer a toda a minha família, em particular à minha prima que sempre foi a irmã mais velha que nunca tive, Catarina Guerreiro Ferreira. A seguir à minha mãe, é a pessoa mais importante na minha vida, que me apoia, que está sempre disposta a ouvir e a aconselhar, contribuindo também para o meu crescimento de uma forma brilhante.

Por fim, quero dedicar esta dissertação ao meu pai e ao meu avô que, infelizmente, já não estão entre nós. Tal como a minha mãe, seriam as pessoas mais orgulhosas de mim pela conclusão desta etapa. Agora resta-me continuar o meu percurso, seguir os seus bons exemplos, fazê-los sentir orgulho e acima de tudo respeitar o que me deixaram.

RESUMO

As exigências de conforto nos ambientes interiores e de durabilidade dos edifícios têm vindo a adquirir particular importância. Problemas como a degradação dos revestimentos, condensações e aparecimento de bolores associam-se à humidade nas construções, em particular à variação da humidade relativa nos ambientes interiores.

Vários estudos demonstraram que as variações da humidade relativa interior podem afectar o conforto térmico, a percepção da qualidade do ar, a saúde dos ocupantes dos espaços interiores, a durabilidade dos materiais de construção e o consumo de energia dos edifícios.

Os materiais de construção utilizados nos paramentos interiores podem ter um contributo activo na regulação da humidade relativa dos ambientes interiores desde que possuam características higroscópicas, ou seja, que tenham a capacidade de adsorver e desadsorver vapor de água.

Nesta dissertação teve-se em consideração a poluição do meio ambiente e do uso excessivo dos recursos naturais. Assim avaliaram-se sistemas de revestimento, muitos deles à base de aglomerado negro de cortiça, que podem ser utilizados como revestimentos interiores. Determinou-se a capacidade de armazenamento de humidade através do *Moisture Buffering Value*, avaliando de que forma estes materiais conseguem, ou não, moderar as oscilações de humidade no interior dos compartimentos.

Através dos resultados obtidos, foi possível concluir qual a importância da utilização de materiais higroscópicos e de que forma estes conseguem moderar as variações de humidade no interior dos compartimentos sem ser necessários recorrer a meios mecânicos.

Palavras-chave: Humidade relativa, Higroscopicidade, Biomaterial, Capacidade de armazenamento de humidade, *Moisture Buffering Value*.

ABSTRACT

The requirements for comfort in indoor environments and the durability of buildings have become particularly relevant in recent decades. Problems such as the degradation of coatings, condensations, fissures and appearance of mold are associated to moisture in the constructions, particularly to the variation of the relative humidity in indoor environments.

Several studies have shown that changes in indoor relative humidity can affect thermal comfort, perceived air quality, occupant health on interior spaces, durability of building materials and energy consumption of buildings. Other studies have also proved that the use of hygroscopic materials in interior spaces allow passive moderation of recorded moisture variations.

The building materials used indoors can make an active contribution to the regulation of the relative humidity of indoor environments when they have hygroscopic characteristics, that is, they have the ability to adsorb and desorb water vapor.

In this dissertation, environmental pollution and the excessive use of natural resources were taken into consideration, so bio-aggregate materials that could be used as interior namely coating systems based in cork. The moisture buffer capacity was determined through the Moisture Buffering Value, evaluating how these materials can or do not moderate the moisture within the compartments.

Through the results obtained, it was possible to conclude the importance of the use of hygroscopic materials and how they can moderate the variations of humidity inside the compartments without being necessary to resort to mechanical means.

Keywords: Relative Humidity, Hygroscopicity, Biomaterial, Moisture Buffer Capacity, Moisture Buffering Value.

Índice

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objectivo e metodologia	1
1.3. Estrutura do trabalho	2

2. Humidade no interior dos compartimentos

2.1. Condições interiores	3
2.2. A importância da humidade relativa nos edifícios	4
2.2.1. Conforto térmico, percepção da qualidade do ar, saúde dos ocupantes e durabilidade das construções	4
2.2.2. Consumo de energia nos edifícios	5
2.3. A humidade nos materiais porosos	6
2.4. Influência da capacidade de armazenamento de humidade dos materiais porosos no controlo da variação da humidade relativa.....	9
2.5. Comportamento dos biomateriais face a capacidade de absorção de água	11
2.5.1. Cortiça.....	13
2.5.2. Rebocos à base de terra	14

3. Materiais e procedimentos de ensaio

3.1. Materiais ensaiados e preparação das amostras.....	19
3.2. Ensaio de caracterização genérica dos materiais e sistemas analisados	24
3.2.1. Condutibilidade térmica	24
3.2.2. Absorção de gota de água	25
3.2.3. Adsorção de água por capilaridade.....	25
3.2.3.1. Material de isolamento térmico.....	26
3.2.3.2. Revestimentos	26
3.2.4. Secagem.....	27
3.2.5. Reacção ao fogo.....	28
3.3. Moisture Buffering Value	29

4. Resultados e discussão

4.1.	Caracterização genérica dos materiais e sistemas analisados	35
4.1.1.	Condutibilidade térmica	35
4.1.2.	Absorção de gota de água	36
4.1.3.	Absorção de água por capilaridade.....	37
4.1.4.	Secagem.....	39
4.1.5.	Reacção ao fogo.....	44
4.2.	Moisture Buffer Value	46
4.2.1.	Estado estacionário	46
4.2.2.	Estado transiente.....	49
4.3.	Síntese de resultados	52

5. Conclusões

5.1.	Considerações finais	57
5.2.	Propostas para desenvolvimentos futuros	58

Referências bibliográficas.....	59
----------------------------------------	-----------

Anexo – Resultados individuais dos ensaios	65
---------------------------------------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Diagrama Psicrométrico	3
Figura 2.2 – “The humidity-related effects on health and indoor air quality”	5
Figura 2.3 – Esquema de princípio da descrição convencional do teor de humidade de um material.....	7
Figura 2.4 – Gráfico tipo dos fenómenos de adsorção	7
Figura 2.5 – Histerese das curvas de adsorção e desadsorção	8
Figura 2.6 – Esquema do modelo da câmara de fluxo (esquerda) e câmara aberta (direita)	9
Figura 2.7 – Resultados das campanhas experimentais de Correia 2016	17
Figura 2.8 – Resultados dos materiais de construção à base de terra revistos na bibliografia.....	18
Figura 3.1 – Placas de aglomerado negro de cortiça.....	20
Figura 3.2 – Provetes de reboco de terra ilítica	20
Figura 3.3 – Materiais comumente utilizados.....	21
Figura 3.4 – Impermeabilização dos provetes	23
Figura 3.5 – ISOMET 2104 Heat Transfer Analyzer	24
Figura 3.6 – Ensaio de absorção de gota de água	25
Figura 3.7 – Provetes de aglomerado negro de cortiça imersos	26
Figura 3.8 – Ensaio de capilaridade em provetes de aglomerado negro de cortiça com e sem revestimentos	27
Figura 3.9 – Ensaio de resistência ao fogo com chama a 15cm de distância	29
Figura 3.10 - Definição do estado de equilíbrio quase constante (os três ciclos dentro da elipse) e da adsorção/desadsorção de humidade	32
Figura 3.11 – Escala de classificação “MBV”	33
Figura 4.1 – Condutibilidade térmica de diversos materiais de construção.....	35
Figura 4.2 – Absorção de pinga de água	36
Figura 4.3 – Curvas médias de absorção por capilaridade de C, CT, CE e CV	38
Figura 4.4 – Curvas médias de absorção por capilaridade de CC e CG	38
Figura 4.5 – Valor assintótico e respectivo coeficiente de capilaridade.....	39

Figura 4.6 – Curva média de secagem de C por tempo	40
Figura 4.7 – Curva média de secagem de C por raiz do tempo	40
Figura 4.8 – Curva de secagem por tempo de C, CT, CE e CV	42
Figura 4.9 – Curva secagem por raiz do tempo de C, CT, CE e CV	42
Figura 4.10 – Curva de secagem por tempo de CC e CG	43
Figura 4.11 – Curva de secagem por raiz do tempo de CC e CG	43
Figura 4.13 – Provetes expostos à fonte de ignição durante 15 segundos	45
Figura 4.14 – Adsorção e desadsorção do aglomerado negro de cortiça	46
Figura 4.15 – Adsorção e desadsorção dos rebocos de terra ilítica	48
Figura 4.16 – Adsorção e desadsorção PGT e RC.....	48
Figura 4.17 – Adsorção e desadsorção ao longo de 15 dias.....	50
Figura 4.18 – Adsorção e desadsorção ao longo de 15 dias.....	51
Figura 4.19 – Adsorção e desadsorção ao longo de 15 dias.....	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Formulações das campanhas experimentais de Correia 2016.....	16
Tabela 3.1 – Materiais utilizados na campanha experimental	19
Tabela 3.2 – Dimensões dos provetes	21
Tabela 3.3 – Descrição dos sistemas de acabamento	22
Tabela 3.4 – Composição dos rebocos de terra	22
Tabela 3.5 – Materiais ensaiados no projeto da Nordtest.....	33
Tabela 4.1 – Média e desvio-padrão das taxas de secagem na 1ª e 2ª fases de secagem de C.....	41
Tabela 4.2 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio de secagem ao nível dos revestimentos.....	44
Tabela 4.3 – Síntese dos resultados obtido no ensaio “MBV”	53
Tabela 4.4 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio “MBV” de Ramos 2007.....	54
Tabela 4.5 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio “MBV” de Rocha 2016.....	55
Tabela 4.7 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio “MBV” de Holcroft et. al 2015a.....	56
Quadro A.1 – Condutibilidade térmica dos provetes de cortiça sem acabamento	66
Quadro A.2 – Absorção de água por capilaridade de revestimentos referente a: C, CV, CT e CE	66
Quadro A.3 – Absorção de água por capilaridade de revestimentos referente a: CG e CC	66
Quadro A.4 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade	66

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Ensaaios e parâmetros experimentais

A_p - Área da secção do provete em contato com a água	m^2
CC - Coeficiente de absorção por capilaridade	$kg/m^2.s^{1/2}$
D1 - Primeira fase de secagem	$kg/m^2.h$
D2 - Segunda fase de secagem	$kg/m^2.h^{1/2}$
HR – Humidade Relativa	%
MBV – <i>Moisture Buffer Value</i>	$g/(m^2\%HR)$
m_i - Massa da amostra no instante inicial	kg
m_f - Massa da amostra no final do ensaio	kg
m_0 - Massa do provete no instante inicial	g
m_{24} - Massa do provete ao fim de 24h	g
M_i - Quantidade de água residual da amostra	kg/m^2
t_0 - Instante inicial	
u - Teor de humidade	kg/kg
VA - Valor assintótico	kg/m^2
w_{cap} - Teor de água capilar	kg/kg
w_{cr} - Teor de água crítico	kg/kg
w_p - Massa de água absorvida	g/m^2
λ - Condutibilidade térmica	$W/(m. ^\circ C)$

Abreviaturas institucionais

EN - European Norm (Norma Europeia)

FCT-UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

ISO - International Organization for Standardization

JIS - Japanese Industrial Standard

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

O conceito de qualidade do ar, no que diz respeito ao conforto higrotérmico dos ambientes e, consequentemente, à saúde dos ocupantes, é algo que tem vindo a ganhar particular importância na sociedade, uma vez que pode influenciar de forma directa o conforto dos ocupantes, assim como a degradação dos materiais e o consumo de energia.

A humidade relativa é um dos parâmetros que tem maior influência na qualidade do ar interior. Elevados valores de humidade no interior de uma habitação podem conduzir a graves problemas de saúde, principalmente a nível respiratório, e contribuem de forma negativa para a durabilidade da construção e para o consumo de energia dos edifícios.

Dadas as consequências causadas pelos elevados valores de humidade relativa, torna-se necessário estudar alternativas passivas para o controlo desta. Para tal é importante conhecer o comportamento dos materiais e soluções construtivas.

Grande parte dos materiais usados na construção civil apresentam características higroscópicas, isto é, têm a capacidade de adsorver humidade, quando esta aumenta, e desadsorver, quando diminui. Uma vez que apresentam esta capacidade há que dispô-los de forma racional de modo a que consigam atenuar as variações de humidade interna.

Tendo em consideração a poluição do meio ambiente e o uso excessivo dos recursos naturais, tem-se optado cada vez mais pela utilização de materiais à base de bio-agregados. Estes são, geralmente, muito porosos e apresentam uma massa volúmica baixa, apresentando uma variada escala de poros. São fortemente higroscópicos e as suas características geométricas resultam em desempenhos higrotérmicos notáveis.

Este trabalho insere-se no projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia PTDC/EPH-PAT/4684/2014: DB-Heritage (Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial) e desenvolveu-se no âmbito da Acção COST FP 1303 (Performance of bio-based materials) e do Technical Committee da RILEM HDB - Hygrothermal behaviour and durability of bio-aggregate based building materials.

1.2. Objectivo e metodologia

A capacidade higroscópica dos materiais é de grande interesse na construção civil, uma vez que materiais com este tipo de capacidade conseguem moderar de forma passiva as oscilações de humidade relativa que se registam no interior dos compartimentos (Amziane 2017).

Esta dissertação tem como objetivo adquirir um conhecimento mais aprofundado acerca da capacidade higroscópica de alguns biomateriais pois a natureza complexa da sua porosidade confere a estes materiais a capacidade de adsorver facilmente a humidade (Amziane 2017). Foram realizados vários estudos para avaliar de que modo os materiais em contacto com os ambientes interiores influenciam na moderação de humidade (Padfield 1998; Simonson *et. al* 2004; Rode *et al.* 2005; Holcroft *et. al* 2015; Lima *et. al* 2016). Destes estudos conclui-se que os materiais que apresentavam alta higroscopicidade tinham uma melhor resposta a este requisito.

Neste estudou-se a capacidade higroscópica de alguns biomateriais como placas de aglomerado negro de cortiça, com e sem acabamentos, e rebocos à base de terra. Os resultados foram comparados com um reboco de cimento e com gesso cartonado. Com esta análise, é possível fazer uma comparação da capacidade de amortecimento de humidade de diversos materiais e como esta característica poderá contribuir para o controlo higrotérmico dos ambientes interiores.

As placas de aglomerado negro de cortiça foram ensaiadas sem acabamento e com diversos tipos de acabamentos, de modo a avaliar como estes poderiam influenciar a capacidade de adsorção/desadsorção.

Para o ensaio do “MBV” teve-se por base o protocolo de teste da Nordtest (Rode *et al.* 2005), adaptando-o às condições registadas durante o inverno, em Portugal.

1.3. Estrutura do trabalho

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo refere-se ao enquadramento do tema, quais os objectivos e as metodologias seguidas e o modo como a presente dissertação está estruturada.

No capítulo 2, procura-se aprofundar os conceitos relativos à humidade existente no interior dos compartimentos e ainda os efeitos que esta tem nos materiais e nos ambientes interiores. É feita também uma revisão bibliográfica dos estudos desenvolvidos para avaliar qual a influência da humidade no desempenho dos edifícios.

No capítulo 3, são descritos quais foram os materiais estudados e como foram preparadas as amostras para a realização dos ensaios. As campanhas experimentais realizadas tiveram como objectivo a caracterização genérica das amostras e a análise de armazenamento de humidade das mesmas, quando expostas em ambientes interiores.

No capítulo 4, são apresentados os resultados dos ensaios realizados e a respectiva análise e discussão dos resultados obtidos.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões finais dos resultados obtidos e também propostas para desenvolvimentos futuros.

2. Humidade no interior dos compartimentos

2.1. Condições interiores

O conforto higrotérmico dos edifícios tem vindo a adquirir uma crescente preocupação, uma vez que o clima interior e a qualidade do ar podem influenciar de forma directa o conforto e saúde dos ocupantes, a degradação dos materiais e o consumo de energia.

A sensação de conforto térmico, assim como a qualidade do ar, são afectadas pela humidade relativa e pela temperatura existentes. Embora a humidade seja pouco valorizada para a caracterização do ambiente interior, está directamente relacionada com a temperatura. Isto é, a humidade relativa afecta a percepção da temperatura, o que significa que, a diminuição da humidade relativa de um ambiente permite o aumento de temperatura sem que a sensação de conforto seja afectada (Pires 2013; Lima 2013). Através da observação do diagrama psicrométrico (figura 2.1), que apresenta em abcissas a temperatura do ar, em ordenadas as pressões parciais do vapor e um conjunto de curvas de humidade relativa, é possível concluir que para uma mesma massa de ar um aumento da temperatura implica forçosamente uma diminuição da humidade relativa (Correia 2013).

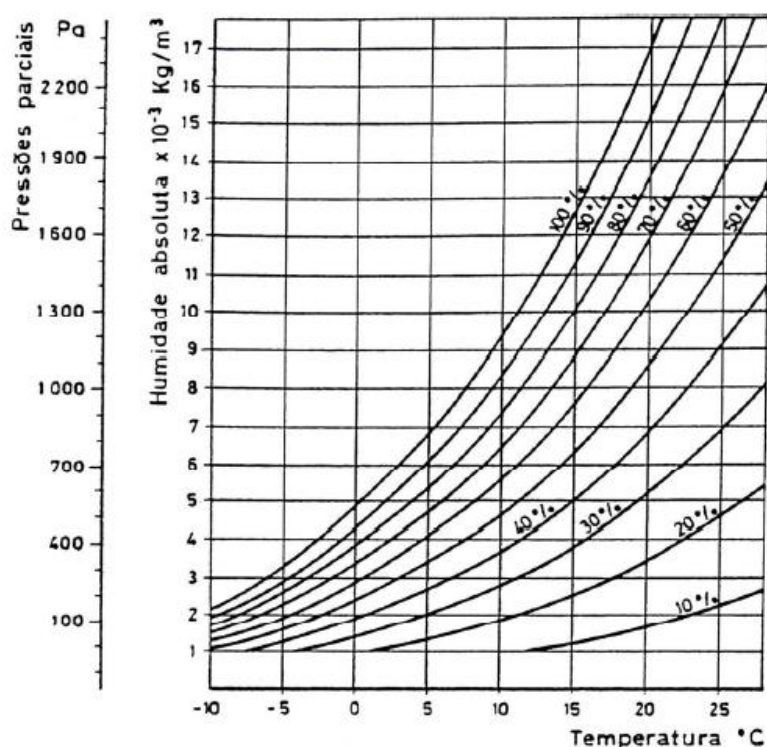


Figura 2.1 – Diagrama Psicrométrico (Henriques 2011)

No interior dos edifícios, existem diversas fontes de humidade relativa, como pessoas e plantas, assim como outras actividades do quotidiano, como cozinhar, tomar banho, etc., que influenciam o ambiente interior. Como já foi referido, o excesso de humidade relativa afecta o conforto térmico dos ocupantes, levando estes a tomarem medidas que tenham por objectivo controlar a qualidade do ar interior.

Para além de afectar a saúde dos ocupantes, a humidade afecta também os materiais de construção, podendo causar diferentes anomalias como degradação, redução da resistência mecânica e química e tendência ao desenvolvimento de microrganismos (Henriques 2007; Fang 2004; Rocha 2016). Em casos comuns, a deficiência de ventilação conjuntamente com produções elevadas de vapor de água propicia a germinação e crescimento de fungos (Jorne 2010). As condições propícias para o desenvolvimento dos microrganismos são muito fáceis de serem atingidas nos ambientes pouco ventilados com temperaturas amenas, inferiores a 23 °C e HR superiores a 70% (Henriques 2007; Rocha 2016).

Assim, a definição das exigências do conforto térmico global foi sujeita a normalização através das normas ISO 7730 e ANSI/ASHRAE, 1992 (Ramos 2007). Nestas normas estabelece-se que o intervalo máximo recomendado que a humidade relativa pode atingir varia entre 60% e 80%, conforme as temperaturas sejam mais ou menos elevadas, respectivamente.

2.2. A importância da humidade relativa nos edifícios

Sendo a humidade relativa um objecto caracterizador de um ambiente interior, existem estudos que procuram traduzir a importância que esta assume ao nível do conforto térmico, da percepção da qualidade do ar, da saúde dos ocupantes, da durabilidade das construções e do consumo de energia dos edifícios.

2.2.1. Conforto térmico, percepção da qualidade do ar, saúde dos ocupantes e durabilidade das construções

A sensação de conforto térmico dos indivíduos, bem como a percepção da qualidade do ar interior do ambiente circundante, são afetadas pelo nível de humidade relativa (Abadie *et al.* 2009). Bornehag *et al.* (2001) chegaram à conclusão que indivíduos que permaneçam em ambientes com humidade relativa elevada estão mais susceptíveis aos efeitos negativos que esta pode causar, principalmente a nível respiratório mas também em termos de cansaço e dores de cabeça. Em contrapartida, ambientes em que a humidade relativa é baixa também são prejudiciais para a saúde, pois a permanência nestes ambientes provoca excessiva secagem da mucosa das vias respiratórias superiores.

Níveis elevados de humidade relativa nos compartimentos dão origem a diversas patologias nos materiais e elementos construtivos (Henriques 2007). O aparecimento de fungos é a patologia que mais facilmente indica que os níveis de humidade num dado compartimento estão elevados. Estes desenvolvem-se e, posteriormente, emitem esporos, células, fragmentos e compostos orgânicos voláteis para o ar interior. Além disso, a humidade começa a degradar os materiais a nível químico e/ou biológico, que também poluem o ar interior. Por isso, sugere-se que a humidade seja um indicador forte e consistente de risco de asma e sintomas respiratórios (WHO 2009). Portanto, é essencial manter o ambiente de humidade interior constante num nível correto, a fim de garantir o conforto e durabilidade de um edifício (Zhang *et al.* 2012).

Na figura 2.2, apresentam-se problemas biológicos associados à humidade relativa e à qualidade do ar.

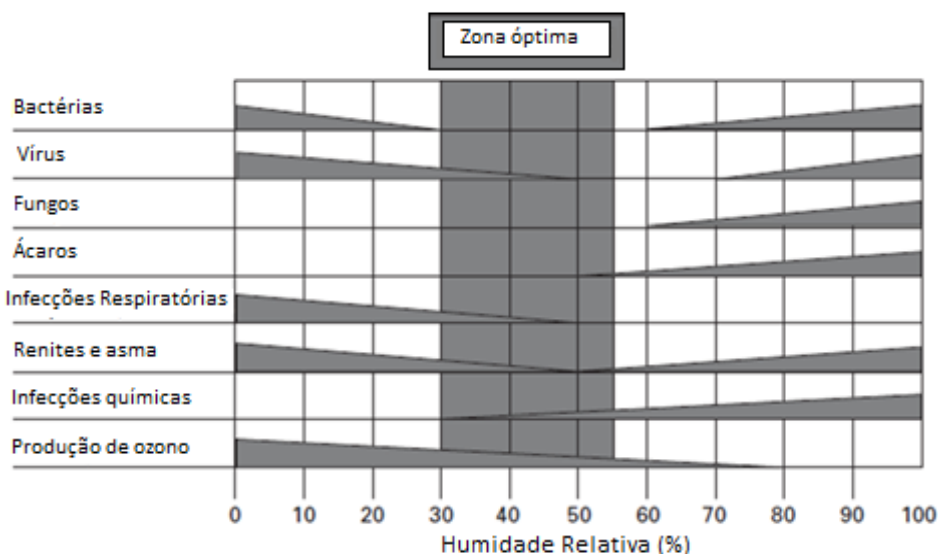


Figura 2.2 – “The humidity-related effects on health and indoor air quality” (Simonson *et. al* 2001)

2.2.2. Consumo de energia nos edifícios

O consumo de energia está directamente ligado com o conforto térmico interior. Isto é, a eficiência energética dos edifícios é influenciada pelo recurso a meios mecânicos como sistemas de ar-condicionado, desumidificadores, aquecedores, entre outros, aos quais se recorre a fim de melhorar a qualidade do ar interior. Estas alternativas de controlo da humidade do ar tornam-se por vezes dispendiosas, afectando o consumo de energia dos edifícios. Existe ainda uma grande discrepância entre o consumo energético estimado e o que é realmente consumido, sendo este um dos grandes problemas dos certificados energéticos (Jorne 2010). Os motivos dessa discrepância geralmente são mal compreendidos, e muitas vezes, estão mais relacionados com o comportamento do usuário/ocupante do que com o próprio edifício (Yoshino 2013). Com o objectivo de compreender melhor o que afecta a eficiência energética dos edifícios, a *Energy in Buildings and Communities Programme - Annex 53* desenvolveu um estudo referente ao consumo total de energia nos edifícios.

As estratégias e hábitos adoptados pelos utilizadores dos edifícios são igualmente fundamentais na gestão da qualidade do ar interior. Hábitos como a abertura das janelas para ventilar a habitação, positivas do ponto de vista da qualidade do ar interior, foram diminuindo significativamente, associados a preocupações com consumos energéticos (Ginja *et al.* 2012; Pinto *et. al* 2007). Isto porque, ao abrir as janelas a ventilação irá aumentar, o que no caso da estação de aquecimento, traduzir-se-á num aumento do consumo de energia porque será necessário recorrer a sistemas de aquecimento.

Um aspecto importante é moderar as variações interiores da humidade relativa nos edifícios porque, como já foi visto, a humidade interior afeta o conforto térmico, a saúde dos ocupantes, a qualidade do ar interior e a durabilidade das construções (Fang *et al.* 1998). Para tal, os utilizadores recorrem a sistemas de arrefecimento e humidificação que se tornam dispendiosos, aumentando o consumo de energia. Segundo

Rempel (2016), a energia usada para arrefecer edifícios tende a aumentar em todo o mundo de forma dramática, devido ao uso excessivo de sistemas de ar-condicionado. Tendo em conta o aumento do consumo de energia, foram feitas pesquisas sobre alternativas passivas para controlar os níveis de humidade no interior dos compartimentos.

2.3. A humidade nos materiais porosos

Como foi referido anteriormente, elevados níveis de humidade relativa no interior dos compartimentos trazem consequências graves a vários níveis, sendo algumas delas irreversíveis. A variação da humidade relativa interior dos edifícios pode ser muito condicionada pelos elementos construtivos e pelo mobiliário da zona em análise (Ramos 2007). Deste modo, vários autores, têm tentado avaliar de que forma as trocas entre a humidade do ar e os elementos construtivos podem contribuir para o comportamento higrotérmico dos edifícios.

É de conhecimento geral, que a maioria dos materiais utilizados na construção são porosos. Quando se fala em materiais de revestimento interior, estes são geralmente formados por estrutura sólida e espaços vazios preenchidos com água líquida ou em forma gasosa e até mesmo por ar seco. Dependendo das condições ambientais, a humidade contida nos poros pode ser encontrada no estado sólido, líquido ou gasoso, ou em múltiplos estados no interior dos micróporos (Künzel 1995; Rocha 2016).

A partir da quantidade de água que o material contém é possível definir qual o seu teor de humidade, que é dado pelo quociente entre a massa de água do material pela sua massa seca, $u - kg/kg$. O teor de humidade dos materiais varia entre zero e um valor máximo, sendo o valor máximo dificilmente atingível, devido à existência de pequenas bolsas de ar no interior dos poros. Assim, toma-se como valor máximo o teor de água capilar (w_{cap}), parâmetro que representa o valor máximo de humidade quando o material está em contacto com a água no estado líquido. Existe, ainda, o chamado teor de água crítico (w_{cr}), valor que corresponde ao teor mínimo de água para o qual a transferência de humidade ocorre em regime líquido, isto é, quando se entra na região capilar (Correia 2013). Este princípio encontra-se esquematizado na figura 2.3.

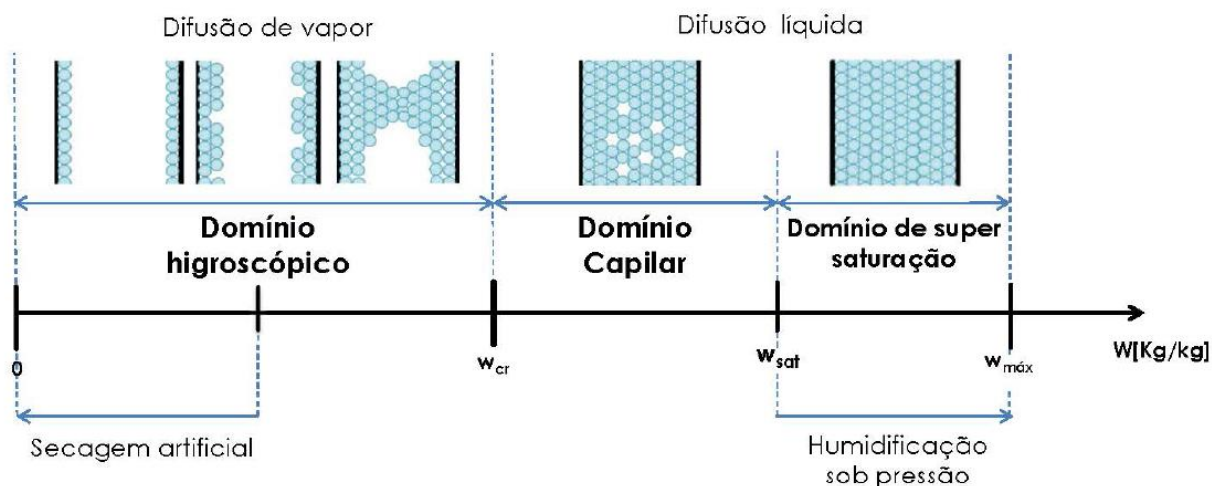


Figura 2.3 – Esquema de princípio da descrição convencional do teor de humidade de um material (Hagentoft 2001; Correia 2013)

No domínio higroscópico, os mecanismos de fixação de vapor de água por adsorção designam-se por higroscopicidade e devem-se a forças intermoleculares que actuam na interface sólido-líquido no interior dos poros.

O fenómeno de higroscopicidade dá-se em três fases: adsorção monomolecular, com fixação de uma camada de moléculas de água sobre a superfície dos poros; adsorção plurimolecular, com fixação de várias camadas sobre a primeira adsorvida; por fim, condensação capilar sobre os meniscos formados pela junção das camadas plurimoleculares.

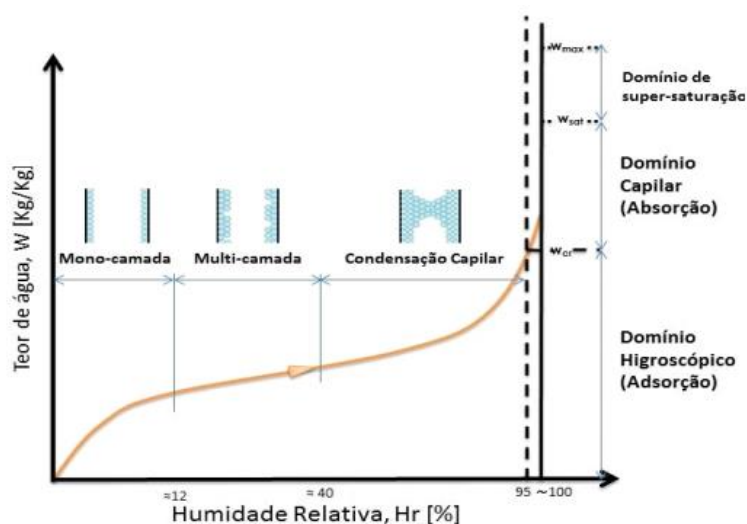


Figura 2.4 – Gráfico tipo dos fenómenos de adsorção (Henriques 2011)

Na região acima de 95%, ocorre o fenómeno de absorção, este situa-se na região capilar, onde a difusão de humidade ocorre por difusão de água na sua forma líquida. A absorção implica a incorporação do volume de uma dada amostra por parte de outra substância, como por exemplo a água (Correia 2013).

Na região do domínio higroscópico, ou seja, entre 0% e 95%, dá-se o processo de adsorção que consiste na retenção superficial ou adesão de moléculas de água à superfície dos materiais (ASTM 2004; Correia 2013). Como se viu anteriormente, a adsorção é uma consequência da energia superficial dos materiais, ocorrendo devido a interações electrostáticas entre moléculas dos materiais envolvidas no processo (Cantrell 2002; Correia 2013).

Os fenómenos de adsorção são, naturalmente, complementados por fenómenos inversos designados de desadsorção. Idealmente, o traçado do gráfico de ambos os fenómenos para um mesmo material deveria ser coincidente. No entanto, tal não ocorre para muitos materiais correntes utilizados na construção civil, onde se verifica que a desadsorção é mais lenta que a adsorção. Designa-se esta diferença de comportamento por histerese (figura 2.5). É de salientar que a histerese é tanto mais evidente quanto maior o valor de teor de água aquando o início da desadsorção do material (Henriques 2011).

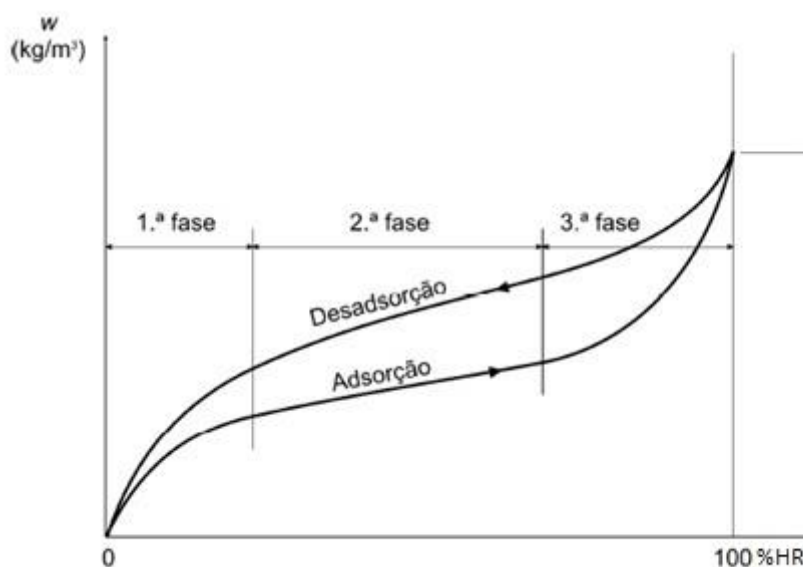


Figura 2.5 – Histerese das curvas de adsorção e desadsorção (Freitas 1992; Ramos 2007)

O fenómeno da histerese ainda não se encontra bem fundamentada, admitindo-se que deverá resultar da estrutura porosa dos materiais. Contudo, foram avançadas duas hipóteses possíveis para este fenómeno (Merouani 1987; Ramos 2007). A primeira hipótese supõe uma diferença entre os ângulos de contacto da água durante a fase de condensação capilar, admitindo que o ângulo “avança” na adsorção e “recua” na desadsorção. Tal significa é que, na fase de desadsorção, verifica-se que o ângulo de ligação entre a superfície do poro e o menisco é inferior ao que se observa na fase de adsorção. Isto faz com que o processo de desadsorção seja dificultado, uma vez que a superfície já se encontra molhada pelo vapor de água condensado. A segunda hipótese baseia-se num efeito conhecido como “frasco de tinta”. Este efeito

resulta no preenchimento do poro com maior secção, em função do raio, na fase de adsorção. Na fase de desadsorção, será o raio do poro mais pequeno a definir a velocidade da desadsorção do vapor, o que significa que esta será mais lenta (Ramos 2007).

2.4. Influência da capacidade de armazenamento de humidade dos materiais porosos no controlo da variação da humidade relativa

Tendo em conta a capacidade que os materiais porosos têm de estabelecer transferências de humidade, torna-se então importante estudar qual a capacidade que estes têm para a armazenar. Estas transferências de humidade constituem um caso particular do fenómeno mais genérico designado de transferências de massa. Estas transferências de massa referem-se aos mecanismos de migração através do meio poroso de gases ou líquidos (Henriques 2011).

As variações da humidade relativa no interior dos compartimentos podem ser limitadas pelos materiais de construção e elementos construtivos, assim como pelo mobiliário da zona em análise (Ramos 2007). Desde 1998, é possível encontrar trabalhos de vários autores onde se analisa a influência da capacidade de armazenamento de humidade dos materiais no comportamento higrotérmico dos edifícios.

O trabalho desenvolvido por Padfield (1998 e 1999), teve por objectivo testar os materiais porosos como moderadores da variação da humidade relativa no interior dos edifícios.

Este autor construiu uma câmara de ensaio estanque com cerca de 0,5 m³, dotada de produção de vapor de água. Esta câmara dispunha de um sistema complexo de geração/extracção de vapor que permitiu testar a avaliação de variação de humidade relativa em função dos materiais nela contidos. Em termos práticos, a estanquidade não era total e o controlo de fluxo era pouco preciso. Ainda assim o ensaio permitiu avaliar o comportamento higrotérmico no interior da câmara em vazio ou na presença de diferentes materiais.

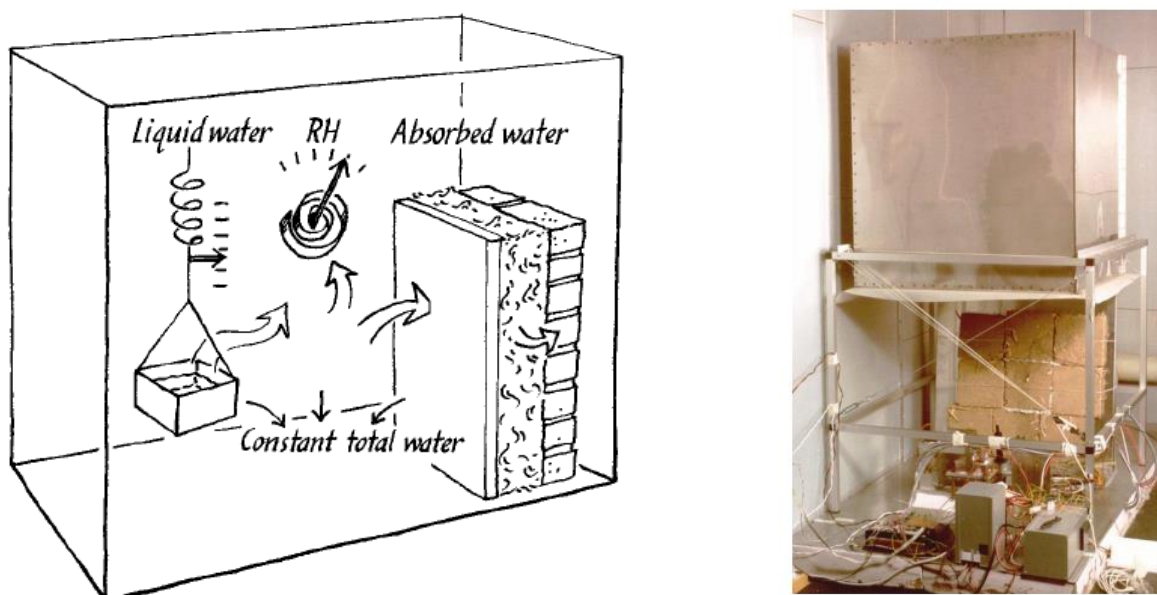


Figura 2.6 – Esquema do modelo da câmara de fluxo (esquerda) e câmara aberta (direita) (Padfield 1998)

Os resultados do ensaio são basicamente directos pois é possível fazer a comparação da humidade relativa da câmara de fluxo quando está vazia e quando são introduzidos materiais.

Também em 1998, Berit Times desenvolveu um método para caracterizar a capacidade de armazenamento de humidade na madeira. Através de ensaios com provetes de madeira, conseguiu obter uma relação linear entre um parâmetro relacionado com a variação da massa e a raiz quadrada do tempo (Ramos 2007; Times 2008). O ensaio propunha duas vertentes. Uma considerava dois intervalos de variação de humidade relativa, 94% - 75% e 75% - 54%. Na outra os provetes estariam sujeitos, durante 24 horas ou 7 dias, as variações de humidade relativa até ser atingido o equilíbrio entre a adsorção e a desadsorção (Time 1998).

Em 2002 foi desenvolvida, Japão, a norma JIS A 1470-1, designada na versão em inglês por: "Test method of adsorption/desorption efficiency of humidity – Part 1: Response method of humidity" (JIS 2002), para caracterizar a capacidade de armazenamento de humidade de materiais de construção. A norma estabelece dois métodos de ensaio para esta caracterização. Um deles consiste no processo de estabilização de um provete a uma temperatura constante e para uma determinada variação de humidade relativa. O provete estará sujeito a ciclos de 24h em que num dos ciclos a humidade é mais alta e noutro a humidade é mais baixa. O outro implica a exposição de um provete a um ciclo igual ao anterior em quatro repetições e permite obter valores em g/m². Contudo, os intervalos propostos para as variações de humidade relativa não correspondem à realidade sendo, portanto, pouco representativos para casos práticos.

Por forma a colmatar as variações de humidade relativa propostas pela JIS A 1470-1 surge, em 2008, uma outra norma, a ISO 24353:2008, que mantém as mesmas características alterando apenas os ciclos de variação de humidade relativa. Esta norma propõe que cada ciclo tenha duração de apenas 12 horas cada um, aproximando-se assim de situações reais. Ainda assim, estes ciclos não foram considerados ideais.

Simonson *et. al* (2004) procuraram também avaliar de que forma os elementos construtivos, permeáveis e higroscópicos, iriam influenciar as características do ar interior. Realizaram medições num quarto, comparando o seu desempenho higrotérmico quando as paredes e tectos eram revestidos com pinturas permeáveis ou plástico pouco permeável. Dessa comparação resultou a conclusão que materiais permeáveis potenciam a redução dos picos de humidade relativa contrariamente aos não permeáveis (Moura 2009).

Aquando da publicação de JIS A 1470-1 e ainda antes da publicação da norma ISO 24353:2008, iniciou-se um projecto realizado no âmbito da Nordtest, (Rode *et al.* 2005a; Rode *et al.* 2005b), que teve como objectivo definir a propriedade a determinar experimentalmente, assim como o procedimento de ensaio associado. Este projecto foi desenvolvido por um grupo de investigadores nórdicos que tinham por objectivo estabelecer um procedimento de ensaio de materiais ou elementos de construção destinado a definir a sua capacidade de armazenamento de humidade. O conceito *Moisture Buffer Value*, "MBV", foi desenvolvido em resultado deste projecto, juntamente com o protocolo de ensaio a adoptar na sua determinação (Ramos 2007).

O ensaio da *Nordtest* apresenta algumas diferenças em relação aos dois anteriores, sendo uma delas que este ensaio é aplicável tanto a materiais de construção, como a mobílias, têxteis e materiais compostos, não se limitando apenas a materiais de construção (Rocha 2016). Outras diferenças apresentadas são o intervalo proposto para cada ciclo e as unidades em que se obtêm os valores. O ensaio da *Nordtest* propõe um ciclo de 8 horas a uma humidade relativa superior e um ciclo de 16 horas com uma humidade relativa mais baixa. Este ciclo proposto foi o que se aproximou mais do que acontece nos edifícios, porque durante 8 horas os ambientes estão geralmente ocupados e há geração de vapor, enquanto que nas restantes horas a produção de vapor não se considera significativa. Através do ensaio da *Nordtest* obtêm-se valores em $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$ e segundo as normas JIS A 1470-1 e ISO 24353:2008 os valores obtidos vêm expressos em g/m^2 .

2.5. Comportamento dos biomateriais face a capacidade de absorção de água

Em todas as normas de ensaio acima referidas, o objectivo era sempre o mesmo, desenvolver uma propriedade que caracterizasse a capacidade de armazenamento de humidade dos materiais e como esta poderia influenciar. A moderação das variações de humidade relativa no interior dos compartimentos.

De um modo geral, os resultados obtidos em todos os estudos evidenciaram a influência que os elementos construtivos e mobiliário podem ter nas variações da humidade relativa interior e na inércia higroscópica, associada à capacidade de armazenamento de humidade desses elementos.

Em 1998, Padfield concluiu que a introdução de materiais higroscópicos permite moderar as variações de humidade relativa e que, em grande escala os resultados obtidos simulariam o interior dos edifícios. Contudo este autor não desenvolveu uma propriedade única para caracterizar a capacidade de armazenamento de humidade destes materiais.

Também Simonson *et. al* 2004, verificaram que a utilização de materiais de revestimento interior permitia regular a humidade relativa, constatando-se uma redução de 35% dos picos de humidade relativa, de 10% da percentagem de insatisfeitos com o desconforto respiratório e uma redução até 25% da percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar interior. Só que, tal como Padfield, não foi definida uma propriedade única.

No ensaio da *Nordtest*, através dos materiais ensaiados foi possível concluir que quanto mais higroscópico fosse o material, melhor resultado de “MBV” era possível obter. O que significa que um material com grande capacidade de armazenamento de humidade influencia de forma positiva a oscilação de humidade relativa no interior dos compartimentos.

Desde então, foram vários os trabalhos académicos que surgiram com o objetivo de estudar as características do ar interior em função da higroscopicidade dos materiais utilizados. Com o avançar dos tempos, surgiu ainda a preocupação de utilizar materiais amigos do ambiente. Isto é, materiais possíveis de utilizar na construção que fossem à base de bio-agregados.

Com a revolução industrial, surgiram novos materiais e novos métodos de construção. Estes materiais seriam de execução mais rápida, dando maior resposta à procura. Contudo, houve um crescente recurso

a meios mecânicos para controlar o ar interior, sendo os métodos passivos de controlo de humidade relativa já existentes descartados em grande parte da arquitectura moderna (McGregor *et. al* 2015; Mahdavi e Kumar, 1996). Anos mais tarde, comprovou-se que o recurso a meios mecânicos estava a trazer consequências negativas como o consumo de energia excessivo e também estavam a contribuir para o aquecimento global.

Já foram abordadas, anteriormente, questões ligadas ao aquecimento global e ao consumo de energia nos edifícios, assim como a preocupação de utilizar materiais que, na sua composição, tivessem bio-agregados, designando-se de biomateriais. Estas questões levaram a uma rápida expansão de materiais à base de bio-agregados que podem ser qualificados como materiais multifuncionais amigos do meio ambiente, sustentáveis e eficientes (Amziane 2017).

Tendo em consideração a poluição do meio ambiente e o uso excessivo dos recursos naturais, tem-se optado cada vez mais pela utilização de biomateriais. Estes são, geralmente, muito porosos e apresentam baixa massa volúmica, apresentando uma variada escala de poros. São fortemente higroscópicos e as suas características geométricas resultam em desempenhos higrotérmicos notáveis.

A alta porosidade e a microestrutura dos bio-agregados são fundamentais para as suas propriedades físicas. Tipicamente, estes materiais têm uma estrutura que lhes confere uma baixa massa volúmica e poros complexos. Isso tem dois efeitos principais. Em primeira instância, uma baixa massa volúmica está associada a baixa resistência e a baixa condutividade térmica. Por esta razão, a maioria dos materiais à base de bio-agregados não são adequados para serem utilizados como materiais estruturais. Por outro lado, são adequados para atuar como um enchimento de baixa densidade em materiais compósitos que conferem baixa condutividade térmica ao bio compósito resultante.

Os materiais de construção à base de bio-agregados são feitos de vários aglutinantes e bio-agregados. Estes materiais são altamente porosos. Esta porosidade é aberta e interligada e, portanto, é o local de transferência de calor e massa e armazenamento de humidade (Amziane 2017).

A natureza complexa da sua porosidade resulta num material que é capaz de adsorver facilmente a humidade, o que significa que tem uma capacidade de armazenamento de humidade excepcionalmente alta. Esta característica é de grande interesse na construção civil, porque como já se viu, materiais com este tipo de capacidade conseguem moderar de forma passiva as oscilações de humidade relativa que se registam no interior dos compartimentos (Amziane 2017).

Holcroft *et. al* (2015a), avaliaram, laboratorialmente a capacidade de armazenamento de humidade de três materiais de isolamento de fibra natural (limalha de cânhamo, fibra de cânhamo, lã de ovelha) e de isolamento de lã de vidro. Neste estudo, avaliou-se o comportamento destes materiais face à humidade quando lhes é aplicado um acabamento e quando não é. O ensaio foi realizado com base na norma ISO 24353:2008, tendo as amostras sido expostas a ciclos de 12 horas cada à temperatura de 23°C, sendo que num ciclo a humidade relativa estava a 53% e noutra a 75%.

Deste ensaio concluiu-se que a limalha de cânhamo apresentou uma maior capacidade de armazenamento de humidade, em comparação com os restantes materiais em estudo. A adição de materiais de acabamento reduziu consideravelmente a capacidade de armazenamento. No entanto, verificou-se que quando era aplicado reboco de argila a capacidade de armazenamento de humidade não diminuía tanto como quando era aplicado reboco de cânhamo. Desta conclusão, destaca-se a necessidade de estudar as propriedades dos materiais de acabamento.

Outro estudo, também realizado por Holcroft *et. al* (2015b), foca-se no efeito que a compactação de limalha de cânhamo tem na capacidade de armazenamento de humidade. Este material apresenta propriedades higrotérmicas variáveis de acordo com a massa volúmica. Verificou-se que, quanto menor a massa volúmica, maior é a capacidade de armazenamento de humidade. Ou seja, uma maior compactação revela-se numa menor capacidade de armazenamento. Ainda assim, os resultados obtidos são bons, inserindo-se como um material excelente na escala de classificação da *Nordtest* (Rode *et. al* 2005a).

2.5.1. Cortiça

Ainda dentro da temática dos materiais de construção à base de bio-agregados, Brás *et. al* (2013), avaliaram de que modo a adição de cortiça em argamassas poderia ser rentável tanto a nível económico como a nível térmico. O objectivo era desenvolver argamassas de cortiça que pudessem ser utilizadas na correção de pontes térmicas de modo a reduzir efeitos de condensação e transferências de calor.

Neste estudo, avaliou-se o comportamento das argamassas à base de cimento com diferentes dosagens de cortiça (de 0 a 80%). Verificou-se que a condutividade térmica apresenta uma diminuição linear para uma maior dose de cortiça na composição da argamassa de cimento (Brás *et. al* 2013).

Como se sabe, Portugal é o principal produtor de cortiça e principal fabricante de produtos em cortiça. A cortiça é um produto natural, 100% vegetal, que é obtido através das operações de limpeza e manutenção dos sobreiros, a cada 9 anos.

A cortiça é uma das matérias-primas naturais mais versáteis conhecidas, sendo formada por componentes estruturais e não estruturais. Estes últimos são categorizados por extractivos e não extractivos. Os componentes extractivos são divididos em cera, que influencia a permeabilidade da cortiça, e compostos fenólicos, que por sua vez parecem desempenhar um papel protetor contra ataques de organismos biológicos (Brás *et. al* 2013).

A cortiça é um material muito leve, elástico, flexível e impermeável a gases ou líquidos, isolador elétrico, bem como isolador térmico, acústico e de vibração (Gil 2009). Possui um conjunto interessante de propriedades físicas e químicas que estão na origem de seu uso em várias aplicações. Embora as rolhas utilizadas para selar garrafas de vinho sejam os melhores produtos de cortiça, existem outros materiais de cortiça que podem ter diversos fins, sendo um deles a construção civil (Sen *et. al* 2014).

Em edifícios e outras obras de construção civil, os produtos de cortiça podem ser utilizados para isolamento térmico, isolamento de vibrações, correção acústica, revestimento de piso, revestimento de parede, tectos

falsos e juntas de expansão. Alguns desses produtos de cortiça podem ser compostos com outros materiais de construção, por exemplo, cortiça de composição e MDF ou HDF (fibra de alta densidade) (Gil 2009).

A baixa condutividade térmica da cortiça, combinada com uma resistência à compressão razoável torna-a um excelente material para fins de isolamento térmico e quando existem cargas compressivas.

Hoje em dia, os produtos de cortiça são, também, utilizados para isolamento térmico em frigoríficos, isolamento acústico em submarinos e estúdios de gravação, vedações e juntas em instrumentos de sopro e motores de combustão, e como meio absorvente de energia em pavimentos, sapatos e embalagens e, claro, como rolhas (Gil 2009).

Algumas aplicações específicas da cortiça no ambiente industrial são: lajes e lençóis de cortiça, isolamento de tubos, revestimento de moldagem de bateria, isolamento de frio, chapas anti-vibração de máquinas, isolamento de tanques de armazenamento, etc. A borracha de cortiça é resistente ao desgaste, sendo antiderrapante e absorvente de som, resistente a graxa de óleo e sais, o que a torna adequada para pavimentos industriais e de veículos. A cortiça faz boas juntas porque acomoda grande distorção elástica e mudança de volume e as suas células fechadas são impermeáveis à água e aos óleos. As capacidades de recuperação da cortiça após a compressão também são importantes para as juntas, permitindo uma pressão contínua contra ambas as superfícies seladas. (Gil 2009)

Como a produção de rolhas de cortiça (rolhas naturais) só é capaz de usar até no máximo 25% da matéria-prima, foram solicitadas novas aplicações. Os compósitos de cortiça fazem parte dos atuais derivados da cortiça e são um dos campos mais promissores da evolução da tecnologia da cortiça (Gil 2009). Alguns desses compósitos são moídos em pequenos grânulos, dos quais os grânulos relativamente maiores são transformados em produtos semelhantes a painéis para isolamento térmico e acústico e construção anti vibratória. No entanto, uma grande porção dos desperdícios permanecem subutilizados devido à densidade não uniforme dos grânulos ou às suas dimensões reduzidas. Ainda assim, a baixa densidade que estes apresentam pode ser útil. Isto é, como apresentam densidade reduzida, podem ser utilizados como agregados leves na composição de betões ou argamassas de modo a conferir a estas propriedades de isolamento térmico e acústico e maior deformabilidade (Brás *et. al* 2013).

2.5.2. Rebocos à base de terra

Sendo as argamassas à base de terra consideradas um produto eco-eficiente para reboco interior que pode contribuir para melhorar aspectos importantes como o desempenho e a sustentabilidade do edifício, Lima *et. al* (2016a) estudaram o comportamento de argamassas à base de terra quando formuladas com solos extraídos da bacia sedimentar do Algarve.

As argamassas à base de terra, são produtos com baixa energia incorporada e apresentam uma elevada higroscopicidade quando comparadas com outros tipos de argamassas para reboco interior. Esta higroscopicidade advém dos minerais de argila que estas têm na sua composição (Lima *et. al* 2016a).

Como já foi visto anteriormente, materiais que tenham elevada higroscopicidade apresentam uma alta capacidade de armazenamento de humidade (Rode *et. al* 2005a). Posto isto, as argamassas à base de terra são mais um produto que pode ser utilizado como revestimento interior que contribuirá de forma passiva para moderar as oscilações de humidade relativa. Atrás desta vantagem, vêm outras como a melhoria da qualidade do ar interior e da eficiência energética dos edifícios, assim como a redução da utilização de meios mecânicos de ventilação, como sistemas de ar-condicionado.

Com o aumento do interesse internacional de argamassas à base de terra, Lima *et. al* (2016a), avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de argamassas à base de terra argilosa extraída da região do “Barrocal”, no Algarve. Este estudo teve como objectivo avaliar de que modo a proporção de terra argilosa e areia definidas na formulação das argamassas pode influenciar as propriedades físicas e mecânicas destas. Esta proporção desempenha um papel importante na prestação das argamassas à base de terra, uma vez que é esperado que as formulações com maior concentração de terra argilosa aumentem a capacidade de armazenamento da humidade das argamassas e em simultâneo diminuam a fissuração do reboco durante a sua secagem (Lima *et. al* 2016a).

Os resultados da caracterização física e mecânica mostram uma reduzida expansibilidade das argamassas, bem como a sua extraordinária capacidade de adsorção-desadsorção. Estes resultados apresentaram uma correlação positiva, no que diz respeito aos teores de terra íltica nas argamassas e são consistentes com a análise mineralógica, que confirmou a ilite como o mineral de argila predominante na terra argilosa utilizada para este estudo. Este mineral pode ser caracterizado pela sua significativa capacidade de adsorção de vapor de água, juntamente com a sua reduzida expansibilidade quando molhado. No entanto, verifica-se a ocorrência do fenómeno de histerese, o que pode levar a uma diminuição na capacidade de adsorção das argamassas ou mesmo à saturação destas. Isto pode ocorrer quando as argamassas são expostas a ciclos consecutivos de adsorção e desadsorção. Em relação à resistência mecânica, apesar dos resultados promissores do teste de adesão, os resultados de resistência à flexão e à compressão sugerem que a resistência mecânica destas argamassas deve ser ligeiramente melhorada. Considerando os resultados actuais, a melhoria da resistência mecânica pode ser conseguida através da formulação de argamassas com maior teor de terra argilosa ou, em alternativa, através da adição de fibras naturais na formulação das argamassas (Lima *et. al* 2016a). Em Lima *et. al* 2016a, avaliou-se o comportamento das argamassas à base de terra quando foram formuladas com diferentes proporções volumétricas de terra íltica e areia, especificamente 1:2, 1:2,5, 1:3 e 1:4, referenciadas respectivamente como E1S2, E1S2.5, E1S3 e E1S4.

Lima *et al.* (2016b) avaliaram a influência da adição de diferentes quantidades de gesso e da utilização de areias com diferentes granulometrias na formulação de argamassas com a terra íltica, particularmente na capacidade de adsorção e libertação de vapor de água, assim como no desempenho mecânico e térmico destes rebocos de terra. A formulação utilizada como referência foi estudada na campanha experimental de Lima *et. al* (2016a), E1S3. As argamassas formuladas com diferentes percentagens de adição de gesso e granulometrias diferentes foram referenciadas com E1S3_G5, E1S3_G10, E1S3_G20, E1SF3 e E1SC3, respectivamente.

Também foi estudado por Lima e Faria (2016c), de que forma as propriedades físicas e mecânicas das argamassas de terra formuladas com argila extraída da bacia sedimentar do Algarve eram influenciadas se à sua composição se adicionasse duas fibras naturais. Foram adicionadas fibras de aveia e fibras de taipa com diferentes percentagens. As argamassas formuladas com diferentes percentagens de adição de fibras foram referenciadas com E1S3_OF10, E1S3_OF20, E1S3_TF20, E1S3_TF40 e E1S3_TF80, em que OF representa as fibras de aveia e TF as fibras de taipa.

Na tabela seguinte são apresentadas as formulações relativamente a estes estudos.

Tabela 2.1 – Formulações das campanhas experimentais de Correia 2016, Lima *et. al* 2016a, Lima *et. al* 2016b e Lima e Faria (2016c). (Lima *et. al* 2017)

Formulação		Rácio volumétrico			
Designação	Descrição (vol.)	terra [%]	areia [%]	adição [%]	água [%]
E1SF3	Traço 1:3 areia fina	25.0	75.0	0.0	24.6
E1S3 (Ref.)	Traço 1:3 areia média	25.0	75.0	0.0	19.6
E1SC3	Traço 1:3 areia grossa	25.0	75.0	0.0	21.3
E1S2	Traço 1:2 areia média	33.3	66.7	0.0	18.8
E1S2,5	Traço 1:2,5 areia média	28.7	71.3	0.0	17.6
E1S4	Traço 1:4 areia média	20.0	80.0	0.0	20.4
E1S3_OF10	Traço 1:3; 10% aveia	25.0	75.0	10.0	22.1
E1S3_OF20	Traço 1:3; 20% aveia	25.0	75.0	20.0	25.0
E1S3_TF20	Traço 1:3; 20% tabua	25.0	75.0	20.0	21.7
E1S3_TF40	Traço 1:3; 40% tabua	25.0	75.0	40.0	22.5
E1S3_TF80	Traço 1:3; 80% tabua	25.0	75.0	80.0	25.6
E1S3_G5	Traço 1:3; 5% gesso	25.0	75.0	5.0	20.4
E1S3_G10	Traço 1:3; 10% gesso	25.0	75.0	10.0	22.1
E1S3_G20	Traço 1:3; 20% gesso	25.0	75.0	20.0	24.5

Apesar do aumento do interesse em argamassas à base de terra, ainda não existem padrões europeus para este tipo de argamassas, excepto na Alemanha, onde o padrão DIN 18947 (DIN, 2013). Desde então, esse padrão foi seguido por vários estudos científicos sobre a avaliação de propriedades mecânicas e físicas deste tipo de argamassas (Delinière, 2014, Faria *et al.*, 2014, Lima e Faria, 2014).

Nos estudos desenvolvidos por Correia 2016, Lima *et. al* 2016a, Lima *et. al* 2016b e Lima e Faria 2016c, a norma utilizada foi a DIN 18947 (DIN,2013). Esta define a estabilização dos provetes numa câmara climática, a uma temperatura de 23°C e 50% de humidade relativa. Após a estabilização dos provetes, a humidade relativa da câmara foi alterada para 80%, dando-se início à fase de adsorção. Os provetes foram pesados de acordo com os intervalos definidos pela norma DIN 18947, de 0,5h, 1h, 3h, 6h, 12h, tendo esta fase do ensaio sido estendida até às 24h. Após o período de 24h, os provetes foram novamente pesados e a humidade relativa da câmara sofreu nova alteração para 50%, dando-se início à fase de desadsorção que se prolongou igualmente por um período de 24h, durante as quais foram seguidas pesagens nos mesmos intervalos de tempo mencionados anteriormente.

Na figura 2.7, são apresentados os resultados dos estudos de Correia 2016, Lima *et. al* 2016a, Lima *et. al* 2016b e Lima e Faria 2016c, referentes à capacidade de adsorção de vapor de água ao fim de 8h. Uma vez que nesta dissertação o objectivo é avaliar o comportamento dos materiais face à humidade, desta bibliografia apenas se avaliou o comportamento das argamassas à base de terra quando a sua formulação era alterada.

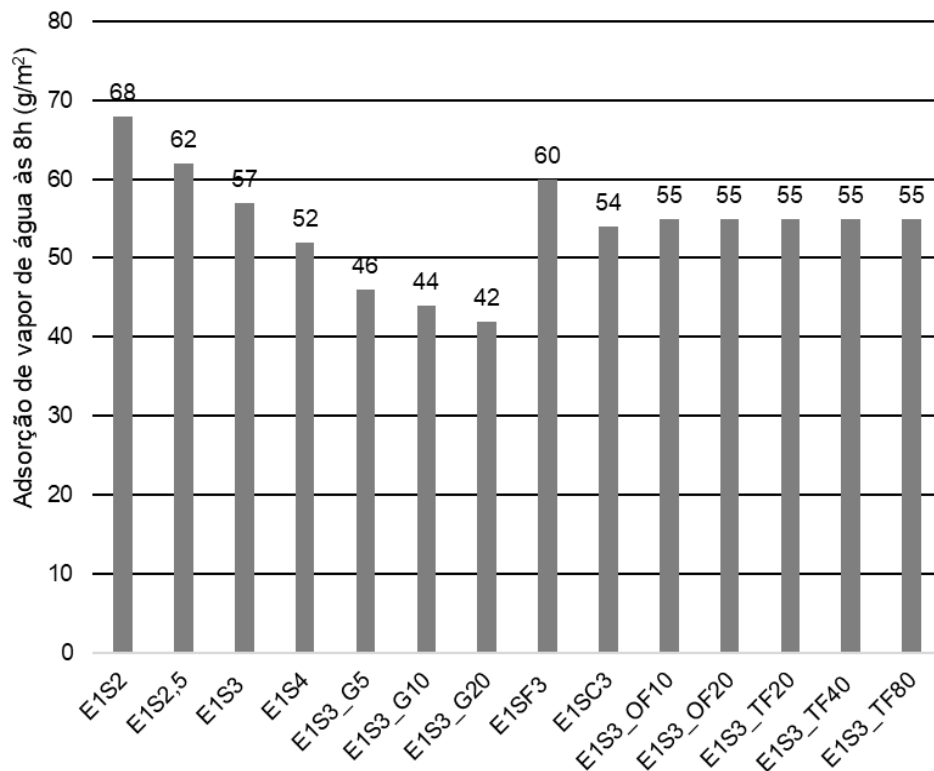


Figura 2.7 – Resultados das campanhas experimentais de Correia 2016, Lima *et. al* 2016a, Lima *et. al* 2016b e Lima e Faria 2016c

De todos os estudos, foi possível concluir que, quando se diminui o volume de terra e se aumentou o volume de areia, a capacidade de adsorção diminui. Isto acontece porque, quanto mais areia a amostra tiver na sua formulação, menos vazios terá, o que significa que a porosidade do material se reduz, não adsorvendo assim tanta água. Já a adição de gesso revelou-se pouco penalizadora quanto à capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água, podendo assim contribuir de forma significativa para o comportamento termo-higrotémico do ambiente interior dos edifícios (Lima *et al.* 2016b). Quanto à granulometria fina e grossa, verifica-se o que quando se diminui o volume de terra e se aumentou o volume de areia, os espaços vazios diminuem, diminuindo a porosidade do material. Relativamente à adição de fibras naturais, no que diz respeito à capacidade de adsorção de vapor de água, os valores obtidos foram idênticos pelo que se pode concluir que a percentagem de fibras em nada altera no comportamento do material face à humidade.

Desta análise bibliográfica, é possível concluir que materiais de construção à base de terra são bons materiais para regular de forma passiva a humidade. Com isto, McGregor *et. al* (2015), elaboraram um trabalho onde reuniram alguns estudos realizados anteriormente sobre o comportamento dos materiais de

construção à base de terra quanto ao armazenamento de humidade. Uma vez que existem diferentes métodos para avaliar este comportamento nos materiais, sabe-se que os resultados obtidos dependem dos ciclos de humidade relativa e dos períodos de adsorção e desadsorção estabelecidos. Portanto a comparação dos resultados das diferentes referências será limitada, uma vez que os autores se baseiam em diferentes normas. Tendo em conta a variação de condições de teste e de forma a obter uma melhor comparação, os valores de adsorção extraídos das referências analisadas são os valores registados ao fim de 8h de adsorção e são expressos em g/m^2 .

Nesta revisão de estudos sobre materiais de construção à base de terra, extraíram-se os valores do estudo de Lustig-Rössler (1992), que se baseou no protocolo da *Nordtest* e estudou três tipos de solos. Nestes foi alterada a formulação, ou seja, variaram-se os volumes de argila, silte, areia e cascalho. Destes três tipos de formulações, obteve-se uma média de resultados de adsorção compreendidos entre os 45 g/m^2 e os 65 g/m^2 . No estudo de Allinson e Hall (2012), também baseado no protocolo da *Nordtest*, obteve-se um intervalo de valores entre 29 g/m^2 e 54 g/m^2 . Neste estudo avaliaram-se três misturas que na sua composição continham areia, cascalho, silte e argila, onde se fez variar o volume de areia e cascalho. Estas foram ainda estabilizadas com cimento Portland (SRE). McGregor *et al.* (2014), também se basearam no protocolo da *Nordtest* e estudaram blocos de terra comprimida (CEB) estabilizada e não estabilizada. Estes blocos foram formulados com diferentes tipos de minerais de argila. A densidade, o teor de água durante a compactação, o conteúdo do estabilizador e a distribuição do tamanho das partículas também foram investigados. Deste estudo, obteve-se um intervalo de valores mais alargado, entre 50 g/m^2 e 155 g/m^2 . Este grupo de investigadores também avaliou o comportamento de rebocos de terra comerciais com e sem revestimento, tendo obtido um intervalo de valores entre 52 g/m^2 e 65 g/m^2 .

Na figura 2.8, são apresentados os intervalos de valores de adsorção ao fim de 8h para os materiais estudados na bibliografia.

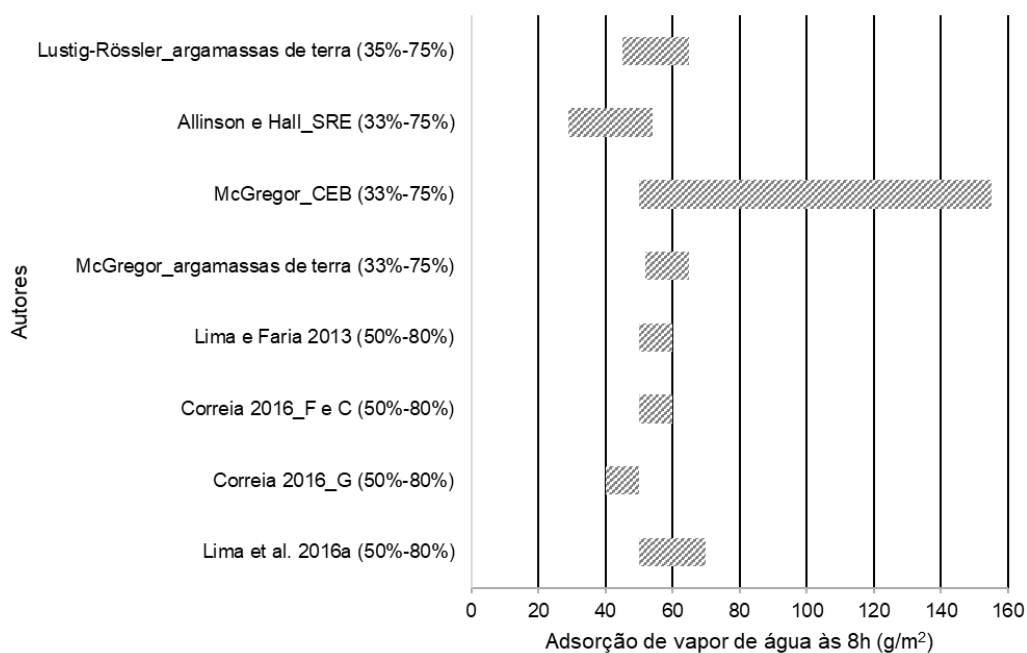


Figura 2.8 – Resultados dos materiais de construção à base de terra revistos na bibliografia

3. Materiais e procedimentos de ensaio

3.1. Materiais ensaiados e preparação das amostras

Os materiais analisados na presente dissertação representam uma gama de materiais possíveis de utilizar como revestimento interior, com eventual contributo para o controlo das variações de humidade relativa. A escolha dos materiais a utilizar tem por objectivo representar um grupo de materiais que podem ser aplicados directamente como revestimentos interiores sem qualquer tipo de acabamento, tendo como termo de comparação os materiais mais comumente utilizados.

Os provetes utilizados na campanha experimental dividem-se em três categorias: placas de aglomerado de cortiça (figura 3.1), rebocos de terra (figura 3.2) e materiais usualmente utilizados (figura 3.3).

Na tabela 3.1 estão discriminados todos os provetes estudados.

Tabela 3.1 – Materiais utilizados na campanha experimental

Material	Acabamento	Designação
AGLOMERADO DE CORTIÇA	Sem acabamento	C
	Verniz	CV
	Sistema de pintura	CT
	ETICS	CE
	Barramento de gesso	CG
	Caiação	CC
REBOCOS DE TERRA ILÍTICA	Sem acabamento	RT
	Primário de silicatos	RTS
	Adição de 5% de gesso na composição e sem acabamento	RTG
PLACAS DE GESSO CARTONADO	Sistema de pintura	PGT
REBOCO DE CIMENTO 1:5	Sem acabamento	RC

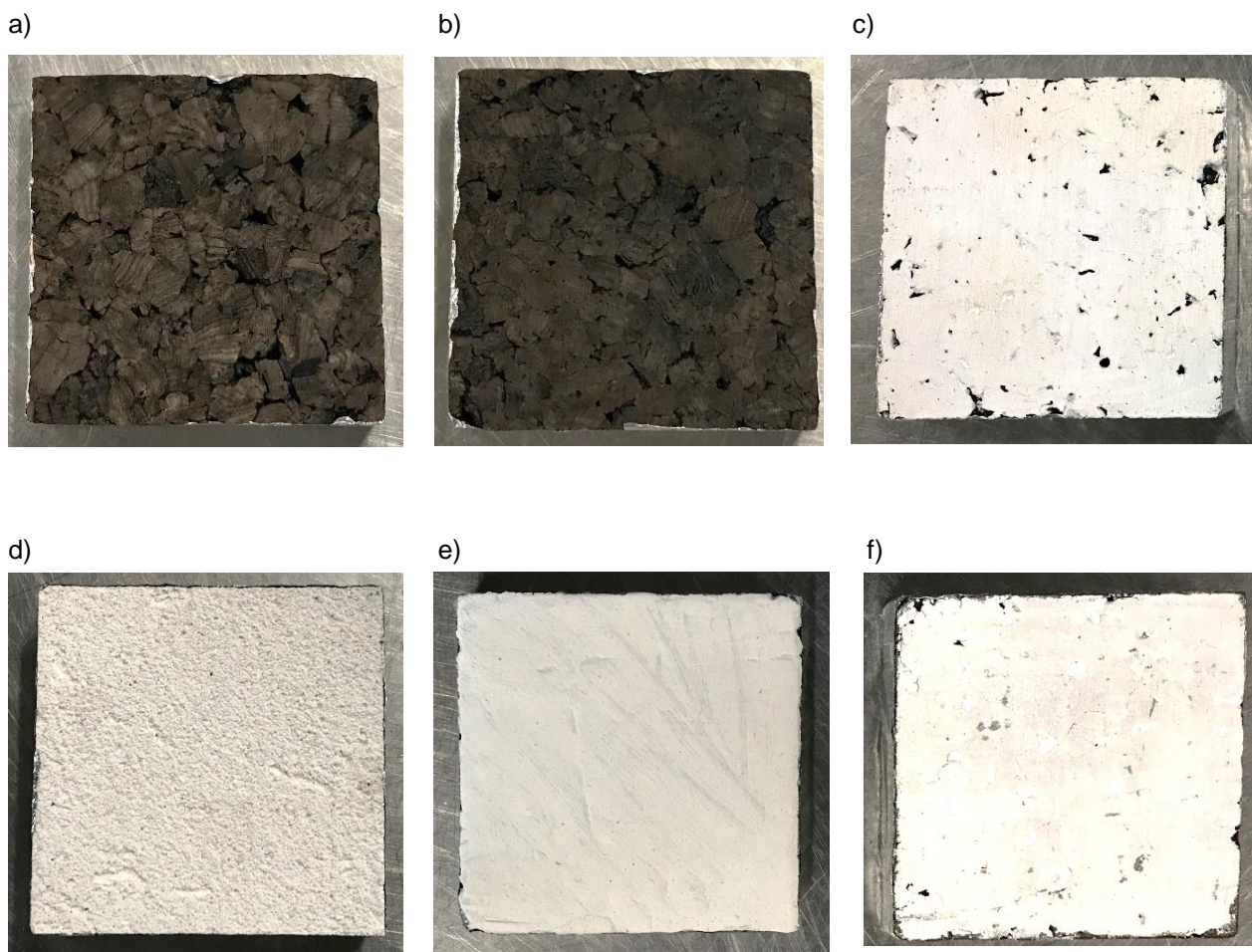


Figura 3.1 – Placas de aglomerado negro de cortiça: a) C, b) CV, c) CT, d) CE, e) CG e f) CC

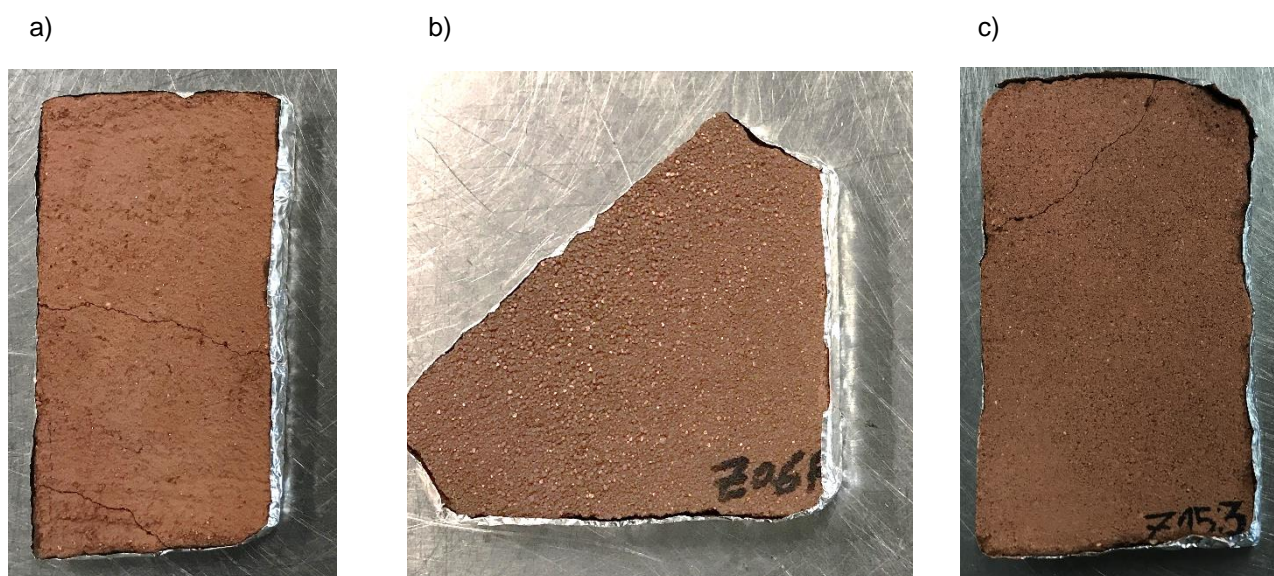


Figura 3.2 – Provetes de reboco de terra ilítica: a) RT, b) RTS e c) RTG

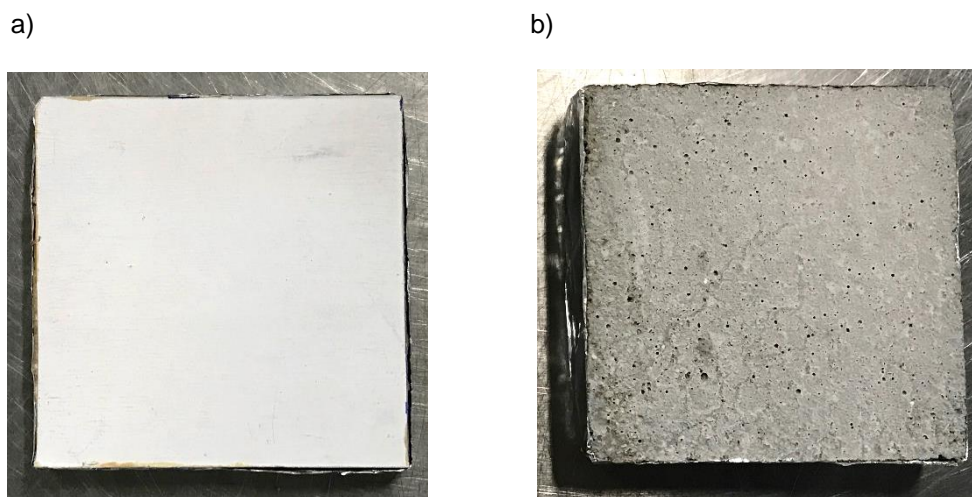


Figura 3.3 – Materiais comumente utilizados: a) PGT e b) RC

Tendo por objectivo caracterizar e analisar os materiais quanto ao seu comportamento higrotérmico utilizaram-se provetes com dimensões 100 x 100 mm ou superiores, obedecendo assim às dimensões mínimas estipuladas pelo protocolo da Nordtest (“MBV”). Estas dimensões não foram possíveis no que diz respeito aos provetes de reboco de terra com primário de silicatos (RTS), uma vez que as amostras disponíveis apresentavam pequenas dimensões. Na tabela 3.2 estão especificadas as dimensões dos provetes ensaiados.

Tabela 3.2 – Dimensões dos provetes

Designação	Espessura (mm)	Área (mm ²)
C	20	10000
CV	20	10000
CT	20	10000
CE	22	10000
CG	22	10000
CC	20	10000
RT	8	10875
RTS	15	5775
RTG	15	15837
PGT	12	10000
RC	20	10000

Os provetes de aglomerado negro de cortiça foram executados em fábrica e distribuídos pela SOFALCA, sendo solicitados com as dimensões acima referidas. De fábrica chegaram provetes sem acabamento, com sistemas de pintura com verniz, com sistema de pintura com tinta plástica e ETICS. Os acabamentos com barramento de gesso e pasta de cal foram aplicados em laboratório, no Laboratório de Materiais de

Construção da FCT-UNL. Na tabela 3.3 apresentam-se de forma mais pormenorizada as especificações dos acabamentos aplicados.

Tabela 3.3 – Descrição dos sistemas de acabamento

Material	Designação	Acabamento	Especificações
AGLOMERADO DE CORTIÇA	C	Sem acabamento	-
	CV	Verniz	2 demãos com protector Corkgard Fuv Brown
	CT	Sistema de pintura	2 demãos com tinta plástica branca
	CE	ETICS	Composto por barramento, rede e fibra, primário e acabamento com sistema de pintura
	CG	Barramento de gesso	Massa de estuque amassada à mão com água
	CC	Caiação	5 demãos com pasta de cal

Relativamente ao provete RT, designado como reboco, este não é efectivamente um reboco. Este provete é uma pasta de argila com água que apresenta elevada retração. Para poder ser considerado um reboco, necessitaria de ter sido estabilizado com areia para diminuição do teor em argila. Ainda assim, de forma a simplificar a análise, é inserida no grupo dos rebocos à base de terra ilítica, por ter argila na sua composição.

No que diz respeito aos provetes de reboco de terra ilítica, estes foram formulados em campanhas anteriores (Lima *et al.* 2016a; Lima *et al.* 2016b; Lima *et al.* 2017). Na tabela seguinte, estão descritas as composições das duas amostras estudadas.

Tabela 3.4 – Composição dos rebocos de terra

Material	Designação	Rácios volumétricos [%]			
REBOCOS DE TERRA ILÍTICA		Terra	Areia	Gesso	Água
	RTS	25	75	-	19,6
	RTG	25	75	5	20,4

Aos provetes de RTS foi aplicado um sistema de pintura de primário de silicatos, diluído em igual volume de água. Foram aplicadas 3 demãos com um pincel até ser obtida a saturação da superfície, sendo o intervalo entre as demãos o tempo de secagem da aplicação anterior.

Este primário de silicatos foi aplicado com o intuito de estudar a possibilidade de alterar o tom do reboco de terra sem que este reduzisse as suas características higroscópicas.

Os materiais designados de “usualmente utilizados” foram preparados em laboratório. As placas de gesso cartonado foram cortadas com as dimensões mínimas estabelecidas pelo protocolo da *Nordtest* (Rode *et al.* 2005a; Rode *et al.* 2005b). A estas aplicou-se um sistema de pintura com tinta plástica branca, com 3 demãos aplicadas sucessivamente após a secagem da anterior. Quanto aos provetes de reboco de cimento, foram executados à mão em laboratório com o traço 1:5 e com as dimensões estabelecidas no protocolo. A estes não foi aplicado qualquer tipo de acabamento devido às condições climáticas que se faziam sentir aquando da realização dos mesmos e à disponibilidade do equipamento de ensaio. Sabe-se que esta situação não corresponde totalmente à realidade porque um sistema de acabamento normalmente influencia o comportamento do suporte quanto à presença de humidade.

À excepção dos provetes CE e CG, todos os provetes com acabamento final apresentam as mesmas espessuras dos provetes do mesmo material sem acabamento.

Para alguns ensaios foi necessário assegurar um fluxo de humidade unidireccional, isolando-se assim as faces dos provetes e mantendo apenas uma das faces de maior área em contacto com o ambiente, de forma a simular as condições reais. Da vasta gama dos materiais impermeabilizantes disponíveis foram seleccionados fita de alumínio e cera de abelha. A cera de abelha apenas foi utilizada nos provetes RT e PGT de modo a criar uma zona de contacto para a fita de alumínio aderir.

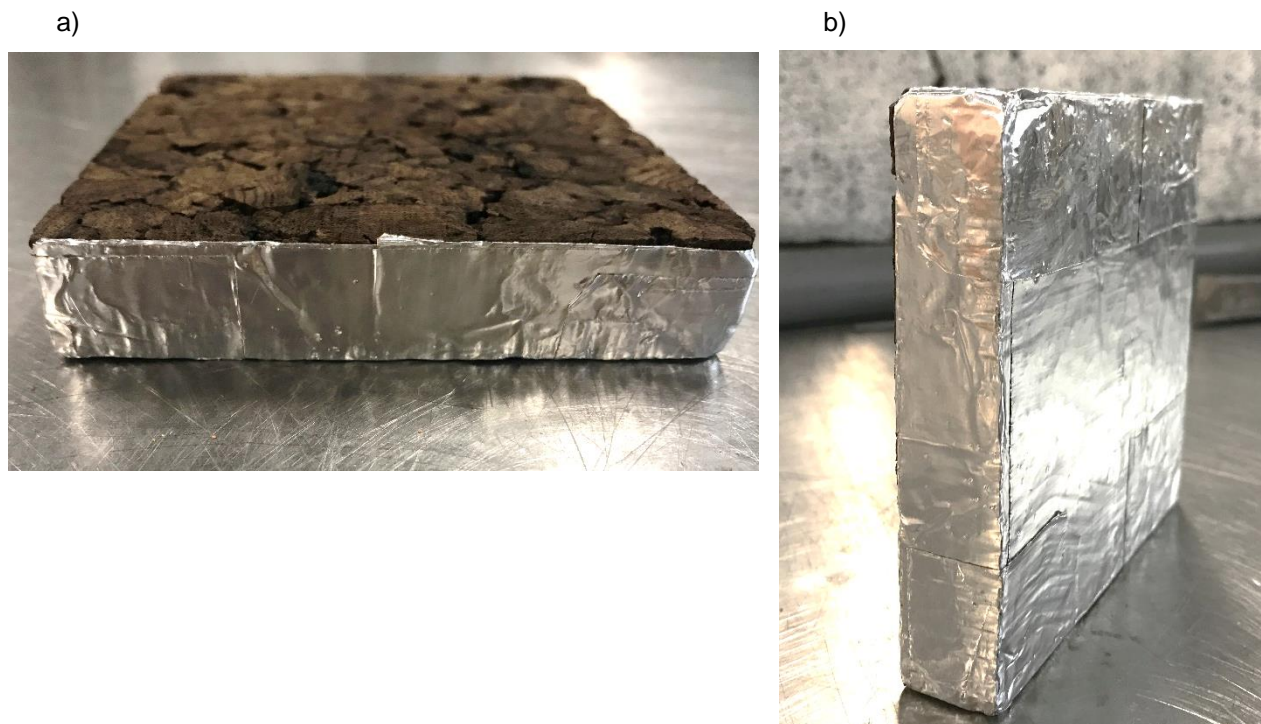


Figura 3.4 – Impermeabilização dos provetes

3.2. Ensaios de caracterização genérica dos materiais e sistemas analisados

3.2.1. Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica, λ , expressa em $W/(m \cdot ^\circ C)$, é uma característica própria de cada material que traduz a forma como o material se deixa atravessar pelo calor, podendo ser definida como a quantidade de calor que atravessa a unidade de espessura do material, por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura (Henriques 2011). Este parâmetro está diretamente relacionado com a porosidade aberta do material, na medida que um material mais poroso terá um valor de condutibilidade térmica mais reduzido.

O ensaio de caracterização da condutibilidade térmica foi realizado de acordo com as especificações do aparelho “ISOMET Model 2104” (figura 3.5) que referem que o sensor do aparelho que realiza a leitura deveria ficar em total contacto com a superfície a ser estudada. Os valores das leituras realizadas pelo aparelho são influenciados pelas condições higrotérmicas do material, pelo que é importante garantir condições de temperatura e humidade relativa constantes.

Para a realização deste ensaio, os provetes foram colocados sobre uma placa de polistireno expandido (EPS), de forma a evitar que a bancada onde se realizou o ensaio influenciasse as leituras. Foram realizadas três leituras, de forma a caracterizar o aglomerado negro de cortiça.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da FCT-UNL, uma vez que na sala de cura condicionada se realizavam outros ensaios, tornando-se assim impossível a colocação do aparelho nessa sala.



Figura 3.5 – ISOMET 2104 Heat Transfer Analyzer

3.2.2. Absorção de gota de água

O ensaio de absorção de gota de água é um teste simples que permite observar o comportamento do aglomerado negro de cortiça, com ou sem acabamentos, face à entrada de água. Neste teste, uma gota de água é derramada na superfície dos provetes para observar de que forma os revestimentos utilizados influenciam a entrada de água no material (Figura 3.6) (Silva 2017).



Figura 3.6 – Ensaio de absorção de gota de água

3.2.3. Adsorção de água por capilaridade

O ensaio da absorção de água por capilaridade tem por objetivo estudar o comportamento dos materiais quando estes se encontram em contacto com a água no estado líquido. Com base no acréscimo da massa dos materiais devido à absorção de água, determina-se qual a capacidade máxima destes absorverem água.

Este ensaio foi realizado com base na norma EN 1609:2013, com algumas adaptações, pois neste estudo foram realizados dois ensaios de absorção por capilaridade: um com o provete parcialmente imerso e outro apenas em contacto com uma pequena lâmina de água. Neste último, para além de se avaliar o comportamento do aglomerado de cortiça, também se avaliou o comportamento deste quando aplicados revestimentos.

Ambos os ensaios foram realizados no Laboratório de Condicionamento de Materiais da FCT-UNL, registando-se uma temperatura de $20,1^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $55,5\% \pm 5\%$ de humidade relativa, aquando do início dos ensaios.

3.2.3.1. Material de isolamento térmico

No caso do material de isolamento de aglomerado negro de cortiça, os provetes foram imersos até um terço da sua altura. Neste caso, os provetes não foram impermeabilizados com o objectivo de estudar de forma isolada o comportamento do aglomerado negro de cortiça face à absorção de água.

Os provetes foram previamente pesados antes de serem imersos em água. De seguida foram colocados num tabuleiro com água, imergindo-os até um terço da sua altura, com pesos sobre eles de forma a não flutuarem devido à sua baixa densidade (figura 3.7). Ao fim de 24h foram retirados de água e pesados, iniciando-se de seguida o ensaio de secagem.

A quantidade de massa de água absorvida é calculada através da seguinte expressão:

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{A_p} \quad (3.1)$$

Onde W_p [g/m²] é a massa de água absorvida, m_{24} [g] a massa do provete ao fim de 24h, m_0 [g] a massa do provete seco no tempo t_0 e A_p [m²] a área da secção do provete em contacto com a água (0,1 x 0,1m).



Figura 3.7 – Provetes de aglomerado negro de cortiça imersos

3.2.3.2. Revestimentos

Neste ensaio, pretendeu-se simular a situação real, ou seja, apenas os revestimentos estão em contacto com o ambiente. Para tal, utilizaram-se os provetes impermeabilizados com fita de alumínio de modo a garantir um fluxo de absorção unidirecional vertical.

Tal como o ensaio anterior, os provetes foram todos previamente pesados antes de se dar início ao ensaio. Em seguida, os provetes foram devidamente colocados num tabuleiro no interior de uma caixa em contacto com a lâmina de água.

O ensaio realizou-se numa caixa estanque (figura 3.8) onde se criaram condições de ambiente saturado em humidade relativa, pela evaporação de água existente por baixo do tabuleiro onde foram colocados os provetes. É neste tabuleiro, perfeitamente nivelado e com uma rede plástica na base, que se coloca a água, criando-se uma lâmina de água com cerca de 3 mm acima da rede.

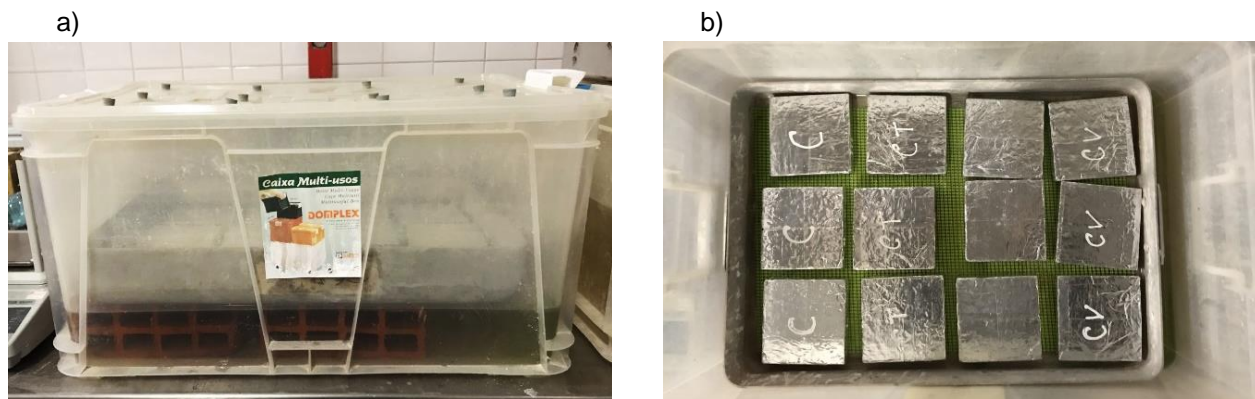


Figura 3.8 – Ensaio de capilaridade em provetes de aglomerado negro de cortiça com e sem revestimentos

Aquando do início do ensaio, foram efetuadas pesagens aos 2, 5 e 10 minutos. Após os 10 minutos iniciais, as pesagens foram efectuadas com um intervalo 10 minutos até ao fim da primeira hora. Ao fim da primeira hora, as pesagens foram efectuadas com um intervalo de 30 minutos, até ao fim do ensaio. Com os valores obtidos, calcula-se o coeficiente de absorção por capilaridade, expresso em $\text{kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$, que corresponde ao coeficiente angular do troço inicial das curvas traçadas.

O ensaio decorre até que todos os provetes estejam saturados com água absorvida por capilaridade, determinando-se o valor assintótico das curvas de absorção, que se considerou atingido quando a diferença entre dois valores sucessivos foi inferior a 1%.

O valor assintótico da curva de absorção quantifica a quantidade total de água que, por unidade de superfície, penetra no material, enquanto o coeficiente de capilaridade traduz a velocidade com que essa absorção ocorre nos instantes iniciais.

3.2.4. Secagem

O ensaio de secagem realizou-se com base na EN 16322:2013, tendo sido feito o tratamento dos dados com base nesta.

Este ensaio é realizado imediatamente após a conclusão do ensaio de absorção de água, com os provetes completamente saturados. Após a última pesagem do ensaio de absorção de água, os provetes são colocados sobre uma superfície metálica, completamente impermeável e lisa.

Assim que se dá início ao ensaio da secagem, os provetes são pesados de 10 em 10 minutos ao longo da primeira hora. A partir da primeira hora, espaçaram-se as pesagens em 60 minutos, com o objectivo de avaliar a velocidade a que os provetes secam, consoante tenham acabamentos ou não.

A curva de secagem corresponde à representação gráfica da evolução do teor em água do provete, M_i , ao longo do tempo, t_i . Quando terminadas as pesagens, com os dados recolhidos, é possível elaborar a curva correspondente à secagem com base na seguinte expressão:

$$M_i = \frac{m_i - m_f}{A_p} \quad (3.2)$$

Onde M_i [kg/m²] é a quantidade de água residual da amostra no instante t_i , m_i [kg] a massa da amostra no instante t_i , m_f [kg] a massa da amostra no final do ensaio e A_p [m²] a área da superfície de secagem. Através desta expressão é possível calcular a quantidade de água presente na amostra, por unidade de área.

Com base na curva de secagem, a norma prevê o cálculo de duas taxas de secagem que permitem um maior conhecimento sobre o comportamento do material em relação à facilidade, ou não, de libertar água do seu interior por secagem. Assim, a primeira fase de secagem, correspondente à fase D1, é caracterizada pelo transporte de água líquida até à superfície seguida de evaporação. A segunda fase de secagem, correspondente à fase D2 é caracterizada pelo decréscimo do transporte de água líquida até à superfície e pelo consequente aumento da difusão do vapor de água, que é limitado pelas propriedades higrotérmicas do material.

A taxa de secagem correspondente à primeira fase, D1, em kg/m² h, é obtida através do cálculo do declive do troço inicial da curva de secagem com a massa de água em função do tempo em horas.

A taxa de secagem correspondente à segunda fase, D2, em kg/m² h^{1/2}, é obtida através do declive do troço reto da curva de secagem com a massa de água em função da raiz do tempo em horas.

3.2.5. Reacção ao fogo

O ensaio de reacção ao fogo foi feito com base na norma EN 13501-1. Para os materiais em estudo, foi realizado o ensaio que avalia a capacidade de ignição sob a exposição a uma pequena chama, com base na EN ISO 11925-2. Nesta norma é definido que o tempo de exposição deve ser de 15 segundos.

Optou-se por experimentar como se comportava o material se se aumentasse o tempo de exposição para 30 segundos. Uma vez que os provetes em estudo têm uma altura pequena e que ao fim de 30 segundos a chama atingiu a altura total do provete, optou-se por manter o tempo estabelecido pela norma de modo a obter resultados mais conclusivos em relação aos acabamentos aplicados.

Para a realização deste ensaio, utilizou-se um suporte metálico onde se colocou um gancho com o provete (figura 3.9). Como fonte de ignição, recorreu-se a um maçarico com uma chama com cerca de 20 mm aplicada na base do provete com uma ligeira inclinação.

A influência das correntes convectivas é negligenciável face à duração reduzida (15s) da aplicação da chama.



Figura 3.9 – Ensaio de resistência ao fogo com chama a 15cm de distância

3.3. *Moisture Buffering Value*

Os ensaios de absorção por capilaridade e secagem descritos anteriormente permitem caracterizar o comportamento do aglomerado negro de cortiça, com e sem revestimentos, face à água. Uma vez que se está a estudar o uso deste material no interior dos compartimentos, este não irá estar directamente exposto a grandes quantidades de água, como por exemplo a chuva. Estando este aplicado pelo interior, irá estar mais exposto a humidade relativa, que como já foi visto surge de diversas formas. Posto isto, pretende-se também estudar qual o comportamento destes materiais face à humidade e como têm, ou não, capacidade de a armazenar.

Existem ensaios como a caracterização da curva higroscópica dos materiais e a sua permeabilidade ao vapor que são importantes para definir a capacidade de armazenamento de humidade dos elementos construtivos. Contudo, seria interessante dispor de uma propriedade que fosse determinada de forma experimental e que, por si só, indique claramente qual é a capacidade de armazenamento de humidade de um elemento construtivo exposto ao ar de um compartimento (Ramos 2007).

Inicialmente, distingue-se os vários níveis a que a capacidade de armazenamento de humidade pode ser tratada. Admite-se uma divisão em três níveis, sendo estes ao nível do material de construção, ao nível do elemento construtivo e ao nível do compartimento.

Relativamente ao nível correspondente a um material de construção, este é visto de forma isolada, podendo ser a sua capacidade de armazenamento determinada com base nas suas propriedades (capacidade higroscópica específica e permeabilidade ao vapor).

No que diz respeito ao elemento construtivo, a capacidade de armazenamento de humidade depende das propriedades dos materiais, mas também da velocidade do ar sobre a superfície e da espessura da camada. O elemento construtivo pode ser composto por um ou mais materiais.

Ao nível do compartimento, o desempenho do armazenamento de humidade é tratado como sendo a capacidade dos materiais, em contacto com o ar, de moderarem as variações de humidade relativa.

A fim de ter uma descrição tanto teórica como física, foi definido um MBV_{ideal} e um $MBV_{prático}$. O $MBV_{prático}$ é determinado a partir da média entre a variação entre a massa correspondente à adsorção e desadsorção para o último ciclo estável, sendo dado pela seguinte expressão:

$$MBV_{prático} = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta HR} \quad (3.3)$$

Sendo que Δm é a média entre o período de adsorção (m8horas-m0) e o período de desadsorção (m24horas-m8horas) para o ciclo estável, expresso em gramas.

O valor de $MBV_{prático}$ é expresso em g/(m²·%HR), A em m² e ΔHR em percentagem de humidade relativa.

Embora o valor do MBV possa ser determinado laboratorialmente, pode ser também aproximando teoricamente com base nas propriedades básicas dos materiais, como a massa volúmica, a permeabilidade ao vapor e as curvas higroscópicas.

A descrição teórica, ao nível dos materiais, baseia-se na analogia entre os processos de transferência de humidade e calor. A efusividade térmica, b , é utilizada para representar a taxa de transferência de calor através da superfície do material, devida a uma alteração da temperatura superficial. Este parâmetro é dado por:

$$b = \sqrt{\rho_s \cdot c_p \cdot \lambda} \quad (3.4)$$

Em que ρ_s é a massa volúmica e vem expressa em kg/m³, c_p é o calor específico em J/(kg·K) e λ é a condutibilidade térmica em W/(m·K).

Por analogia com este conceito é, então, possível definir a efusividade hídrica, b_m , de acordo com a expressão:

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta_p \cdot \rho_s \cdot \xi_u}{P_{sat}}} \quad (3.5)$$

Onde δ_p é a permeabilidade ao vapor em kg/(m·s·Pa), ξ_u é a capacidade higroscópica específica e vem expressa em kg/kg e é calculada a partir das curvas de adsorção e P_{sat} é a pressão de vapor de saturação em Pa.

A efusividade hídrica é um instrumento teórico que permite expressar a taxa de adsorção de um material submetido a uma variação de humidade superficial. Definida a efusividade hídrica é possível encontrar uma característica dos materiais que traduza a sua capacidade de armazenamento de humidade em ciclos diários. Essa característica depende do tipo de ciclo a que o material é exposto.

Utilizando a análise de Fourier, é possível prever a variação da densidade de fluxo de vapor em função do tempo, $g(t)$, e a respectiva quantidade de vapor acumulada, $G(t)$.

$$G(t) = \int_0^t g(t)dt = b_m \cdot \Delta p \cdot h(\alpha) \cdot \sqrt{\frac{t_p}{\pi}} \quad (3.6)$$

Onde:

$$h(\alpha) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi\alpha)}{n^{3/2}} \approx 2,252[\alpha(1-\alpha)]^{0,535} \quad (3.7)$$

$G(t)$ representa a quantidade de vapor acumulada e vem expresso em kg/m², Δp é a variação de pressão em Pa, t_p representa o tempo de adsorção em horas e α representa a fracção do período diário em que o nível de humidade é elevado.

Para o ciclo em estudo de 8/16 horas, $\alpha = 1/3$, o que faz com que $h(\alpha) = 1,007$ e assim, a quantidade de vapor acumulada vem expressa de uma forma mais simplificada:

$$G(t) = 0,568 \cdot b_m \cdot \Delta p \cdot \sqrt{t_p} \quad (3.8)$$

Assim, a definição do MBV_{ideal} para um material, que representa a sua capacidade de armazenamento de humidade face ao ciclo diário escolhido, será então proporcional à efusividade hídrica de acordo com a seguinte expressão:

$$MBV_{ideal} \approx \frac{G(t)}{\Delta HR} = \frac{\Delta m}{\Delta HR \cdot A} = 0,00568 \cdot P_{sat} \cdot b_m \cdot \sqrt{t_p} \quad (3.9)$$

É de notar que existem diferenças entre o MBV_{ideal} e o $MBV_{prático}$. Só será possível fazer uma comparação entre estes dois valores se o material de ensaio for homogéneo, caso este seja composto por diferentes materiais ou camadas ou ainda que apresente uma espessura superior à espessura de penetração associada ao ciclo em causa. Nestes casos, a aproximação do modelo teórico deixa de ser válida. No presente trabalho, apenas se realizou o cálculo do $MBV_{prático}$, uma vez que os provetes em estudo são, em geral, compostos por mais que um material.

O projecto *Nordtest* “Moisture Buffering of Building Material” (Rode *et al.* 2005a), prevê a determinação do “MBV” de materiais homogéneos ou elementos compostos que podem ser produtos da construção, ou não, devendo ser previsível a sua utilização em contacto com o ar interior.

No protocolo de ensaio proposto pela *Nordtest*, prevê-se a utilização de uma câmara climática que produza uma variação cíclica de humidade relativa. Esta variação da humidade relativa, estabelece a alternância entre dois períodos de condições constantes: um período de 8h onde se regista o maior valor de humidade relativa e outro de 16h onde se regista o menor valor. A definição deste ciclo, obedeceu a dois critérios. A escolha do ciclo de 8h representa o que sucede em quartos e escritórios, onde a produção de vapor dura normalmente 8h. O segundo ciclo, 16h, ocorre por questões práticas relacionadas com a possibilidade de o ensaio ser realizado em câmaras climáticas que são apenas manuais.

Os ciclos repetem-se até ser atingido um equilíbrio quase constante, como mostra a figura 3.10.

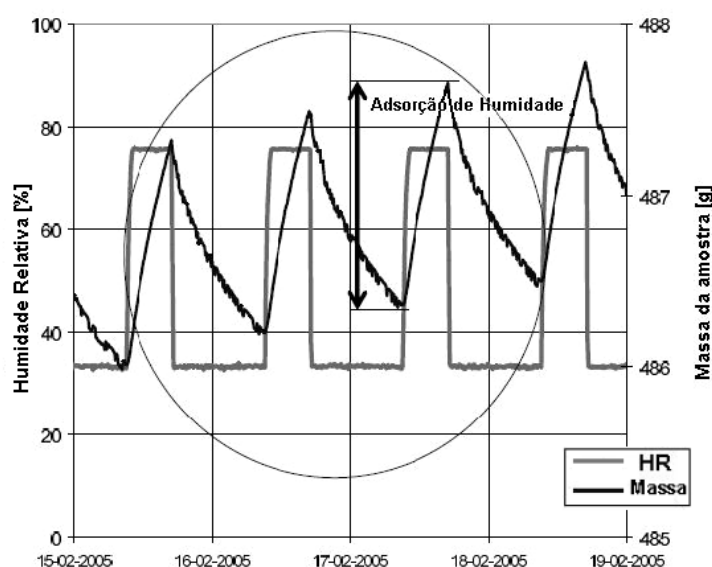


Figura 3.10 - Definição do estado de equilíbrio quase constante (os três ciclos dentro da elipse) e da adsorção/desadsorção de humidade (Rode *et al.* 2005a)

Para os ciclos de variação de humidade relativa, o protocolo propõe que se adopte para o valor de humidade relativa baixa, 33%, e para o valor de humidade relativa alta, 75%. A temperatura é constante e igual a 23 °C. Nestas condições, os resultados obtidos estão discriminados na tabela seguinte.

No âmbito desta dissertação, optou-se por adoptar os valores de 60% e 90% como limites inferior e superior de humidade relativa, associados a uma temperatura constante de 16 °C. Estes valores não são os correspondentes aos previstos pelo protocolo. Esta escolha deve-se ao facto destes valores terem sido registados no interior das habitações, em Portugal, durante o inverno.

Tabela 3.5 – Materiais ensaiados no projeto da Nordtest (Rode *et. al* 2005a)

Referência	Material	MBV (g/(m ² .%HR))
		8h-16h; 23°C; 33%-75%
Rode et al. 2005a (DTU)	Placas de abeto (madeira proveniente do abeto)	1,22
	Betão	0,42
	Madeira laminada com verniz	0,46
	Gesso	0,74
	Betão celular	1,05
	Tijolo	0,39

De modo a interpretar os resultados obtidos de uma forma mais rápida e objetiva, Rode *et al.* 2005a propõe uma escala de valores (figura 3.11).

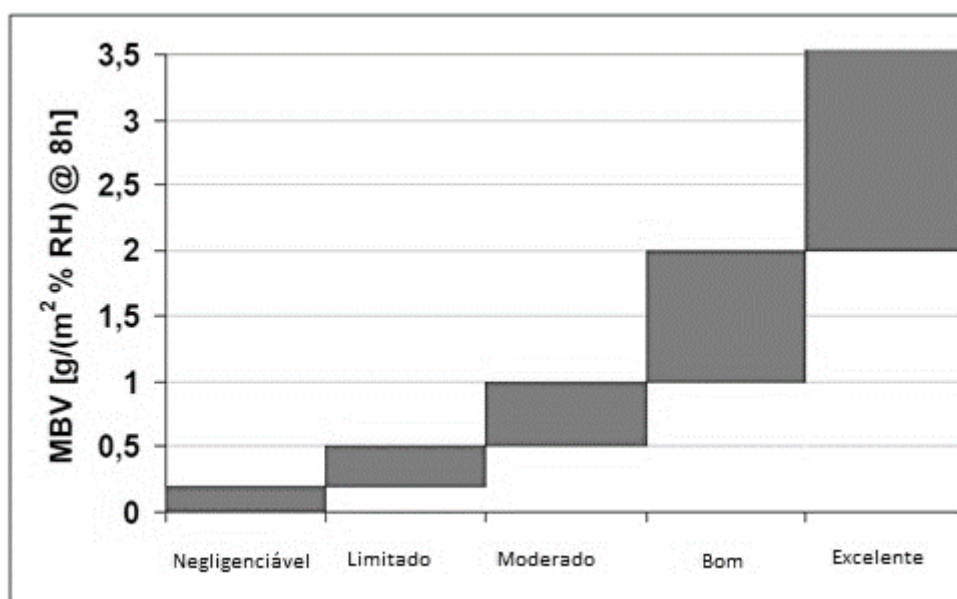


Figura 3.11 – Escala de classificação “MBV” (Rode *et al.* 2005a)

No presente trabalho, utilizou-se a câmara climática disponível no Laboratório de Durabilidade da FCT-UNL – “Aralab Fitoclima 300 EDTU”. Esta permite uma variação de temperatura entre -45°C e +180°C ± 0,05 °C e uma variação de humidade relativa entre 10 e 98% ± 0,2%. Por forma a reduzir a influência do clima exterior, colocou-se a balança no interior da câmara climática e criou-se um sistema que permite abrir a porta da mesma sem alterar a humidade relativa e a temperatura no interior desta com um painel de vidro acrílico e luvas de borracha estanques (figura 3.12).



Figura 3.12 - Câmara climática – “Aralab Fitoclima 300 EDTU”

A câmara climática utilizada para o ensaio era programável, mas optou-se por variar os ciclos de forma manual, uma vez que as pesagens eram efectuadas ao fim de cada ciclo. A cada pesagem a câmara climática era desligada para efeitos de calibração da balança que se encontrava no interior.

Antes de dar início ao ensaio propriamente dito, procedeu-se ao pré-condicionamento dos provetes a 60% de humidade relativa, à temperatura constante de 16°C, até se registarem variações de massa inferiores a 0,1%. No final do processo de estabilização, os provetes foram, então, expostos a variações de humidade relativa durante 15 dias consecutivos.

4. Resultados e discussão

4.1. Caracterização genérica dos materiais e sistemas analisados

No presente capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos dos ensaios de caracterização genérica, por forma a compreender alguns dos comportamentos do aglomerado negro de cortiça.

4.1.1. Condutibilidade térmica

Neste ensaio, estudou-se a condutibilidade térmica do aglomerado negro de cortiça, ou seja, de que modo o material se deixa atravessar pelo calor. Uma vez que o ensaio não foi realizado no Laboratório de Condicionamento de Materiais, há que ter em conta que o resultado deste ensaio pode estar ligeiramente inflacionado devido às condições de temperatura e humidade.

Através do ensaio realizado, obteve-se um valor de condutibilidade térmica de 0,051 (W/m.K). Comparando com outros materiais de isolamento, o aglomerado negro de cortiça apresenta um valor ligeiramente acima, mas dentro do esperado. Como a cortiça é um material que apresenta baixa densidade, seria expectável um valor de condutibilidade térmica próximo dos materiais usualmente utilizados para isolamento térmico.

Na figura 4.1, apresenta-se o resultado obtido no ensaio, assim como alguns valores de condutibilidade térmica de materiais que são usados para efeitos de isolamento térmico.

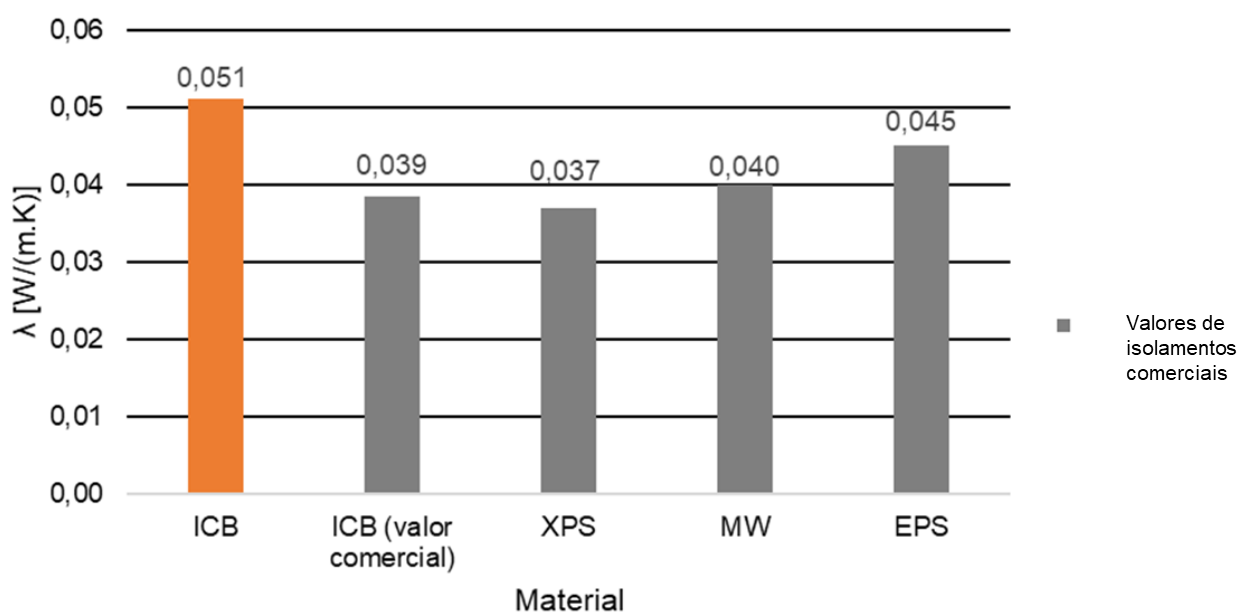


Figura 4.1 – Condutibilidade térmica de diversos materiais de construção

4.1.2. Absorção de gota de água

Este ensaio foi feito meramente por observação, após derramar uma gota sobre as diversas superfícies. Nos seis casos analisados, verificam-se ângulos de contacto diferentes (figura 4.2).

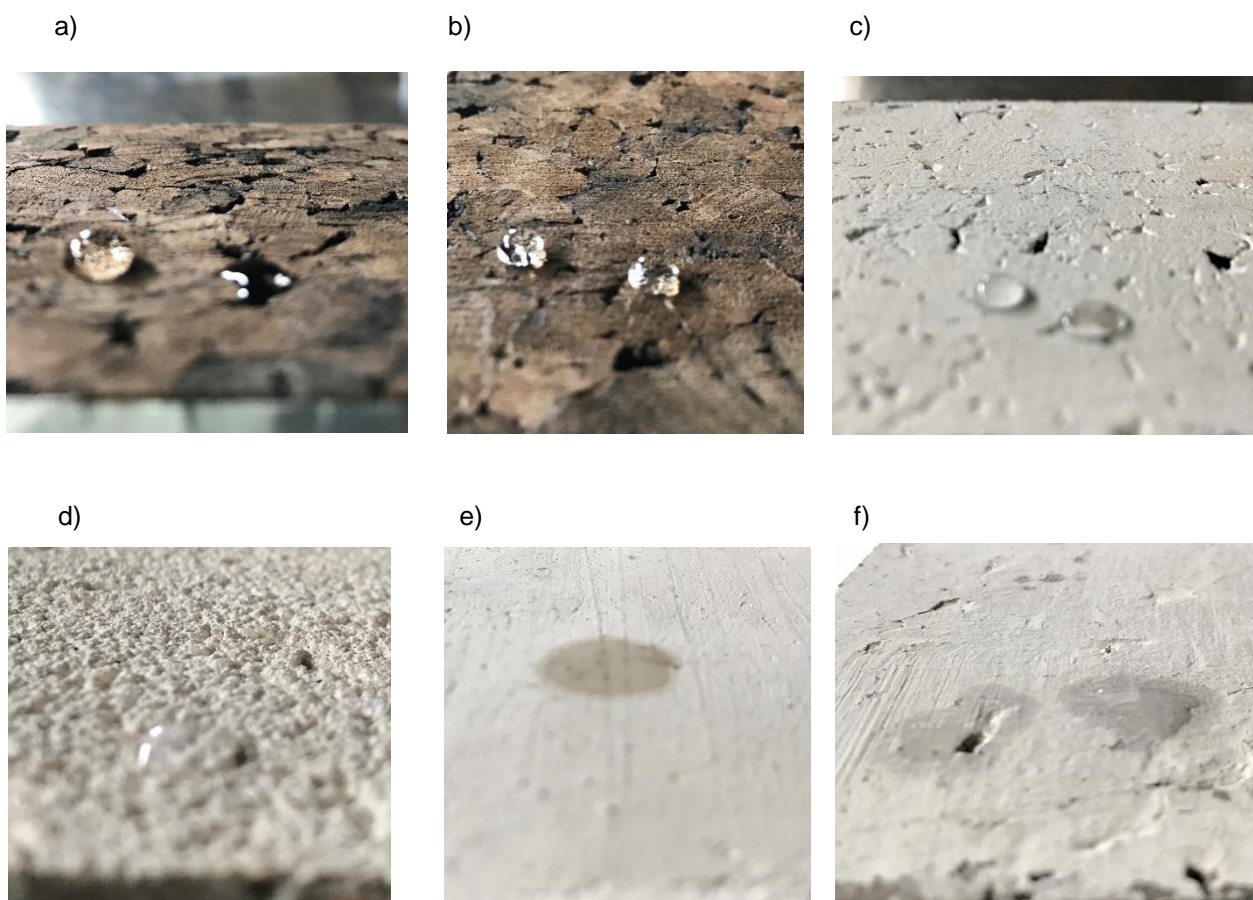


Figura 4.2 – Absorção de pinga de água em: a) C, b) CV, c) CT, d) CE, e) CG e f) CC

No caso da cortiça sem acabamento e com acabamento com sistema de pintura de verniz, é possível observar que a gota de água é pouco absorvida. Tal deve-se à baixa permeabilidade ao líquido que a cortiça apresenta devido à sua estrutura molecular, no caso em que não é aplicado qualquer tipo de acabamento. Quando é aplicado um sistema de pintura com verniz, observa-se algo idêntico devido ao tipo de verniz aplicado que confere ao material propriedades de repelência à água, óleo e manchas.

Quando é aplicado um sistema de pintura com tinta plástica, é possível observar um ângulo de contacto ligeiramente inferior aos anteriores. Ainda assim, a absorção da gota de água é baixa devido à permeabilidade à água que a tinta plástica utilizada apresenta. Esta permeabilidade deve-se a um dos tipos de ligante que compõe a tinta plástica, resina que é uma secreção extraída de diversos tipos de plantas. Devido à sua composição de cadeias de ácidos, as resinas são extramente apolares e insolúveis à água.

Quando aplicado um sistema de ETICS, observa-se um ângulo de contacto inferior do que os provetes C, CV e CT. Isto deve-se às características do sistema de pintura aplicado, tal como em CT, e a rugosidade observada influencia numa mais entrada de água no provete.

No caso em que é aplicado um barramento de gesso ou um sistema de pintura por caiação, o ângulo de contacto é praticamente nulo. Dentro dos materiais hidrófilos, o gesso e a cal aérea, são classificados como hidrófilos aéreos. Estes são misturados com água, formando uma pasta que endurece ao ar e não resistem à água. No caso do barramento de gesso, observa-se uma mancha ligeiramente acastanhada.

4.1.3. Absorção de água por capilaridade

Com os dois parâmetros obtidos neste ensaio, o coeficiente de absorção e o valor assintótico, é possível tirar conclusões acerca do comportamento do aglomerado negro de cortiça face à água. Idealmente, pretende-se que ambos os valores sejam reduzidos, pois desta forma, se o coeficiente de capilaridade for baixo, a velocidade de absorção de água será menor na fase inicial, assim como a quantidade máxima de água absorvida pelo material.

Como foi referido no Capítulo 3, o ensaio de absorção por capilaridade foi executado de duas maneiras. Numa colocou-se o aglomerado negro de cortiça numa tina de água, parcialmente imerso, e noutra apenas em contacto com uma lâmina de água.

No caso do aglomerado negro de cortiça parcialmente imerso apenas é possível determinar a quantidade máxima de água absorvida ao fim de vinte e quatro horas. A quantidade máxima de água absorvida foi de 0,670 kg/m².

Nas figuras 4.3 e 4.4, estão representadas as curvas de absorção de água em função da raiz do tempo. São apresentados dois gráficos, pois deu-se início aos ensaios em horas diferentes e também se terminou em tempos diferentes, uma vez que se tinha definido o término do ensaio quando os provetes estivessem saturados.

À excepção de CE e CG, todos os materiais apresentaram valores de teor de água próximos entre si. Para C, CT, CV e CC, registam-se valores mais baixos. Como foi referido anteriormente, os revestimentos à base de sistema de pintura com tinta plástica, com verniz e com caiação são revestimentos porosos. Esta porosidade e a camada micro milimétrica que estes apresentam, permite que a água os atravesse e atinja o sistema de suporte. De notar, que destes quatro, C é que obtém maiores valores o que significa que, ainda que os revestimentos sejam porosos, acabam por impedir, ligeiramente, a passagem de água. Ainda assim, os valores obtidos são baixos devido à baixa permeabilidade ao líquido que o aglomerado negro de cortiça apresenta.

Relativamente a CG, obtém-se valores um pouco mais elevados que os anteriores devidos às propriedades do gesso e também à altura do barramento de gesso aplicado de 2 mm. Tal como os sistemas de acabamento anteriores, também o barramento de gesso é muito poroso. Como este apresenta uma camada

de 2 mm, grande parte da água absorvida instalou-se na camada de barramento de gesso aplicada, aumentando assim a massa do provete em relação aos anteriores.

Quanto a CE, foi o que apresentou o teor de água mais elevado de todos, devido aos diferentes materiais que compõem o revestimento. Portanto, a maior parte da água absorvida fica impregnada na camada de revestimento.

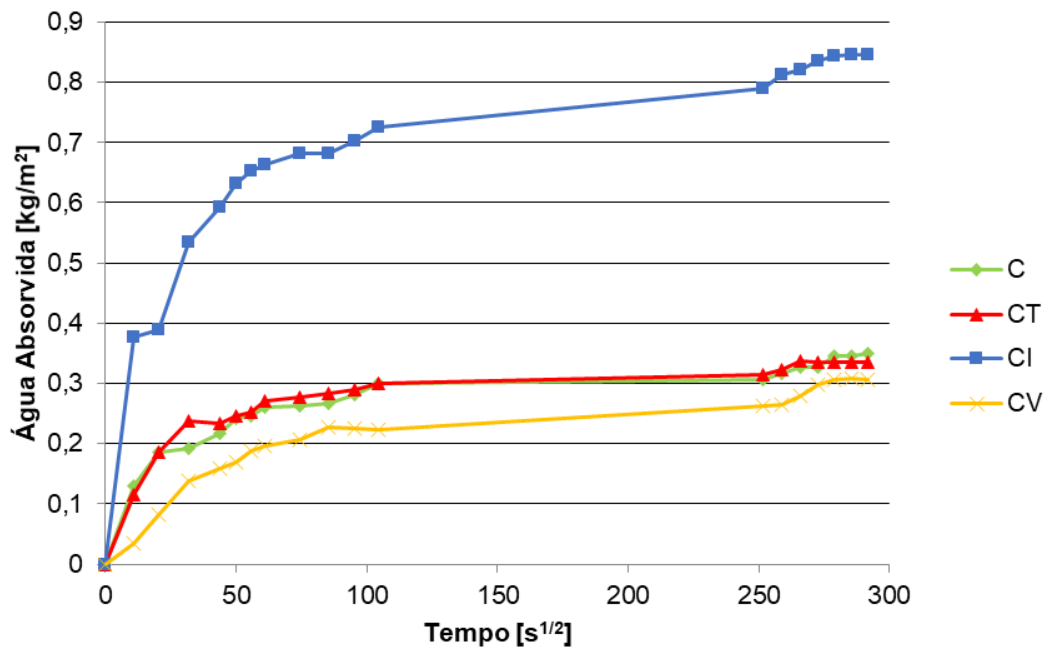


Figura 4.3 – Curvas médias de absorção por capilaridade de C, CT, CE e CV

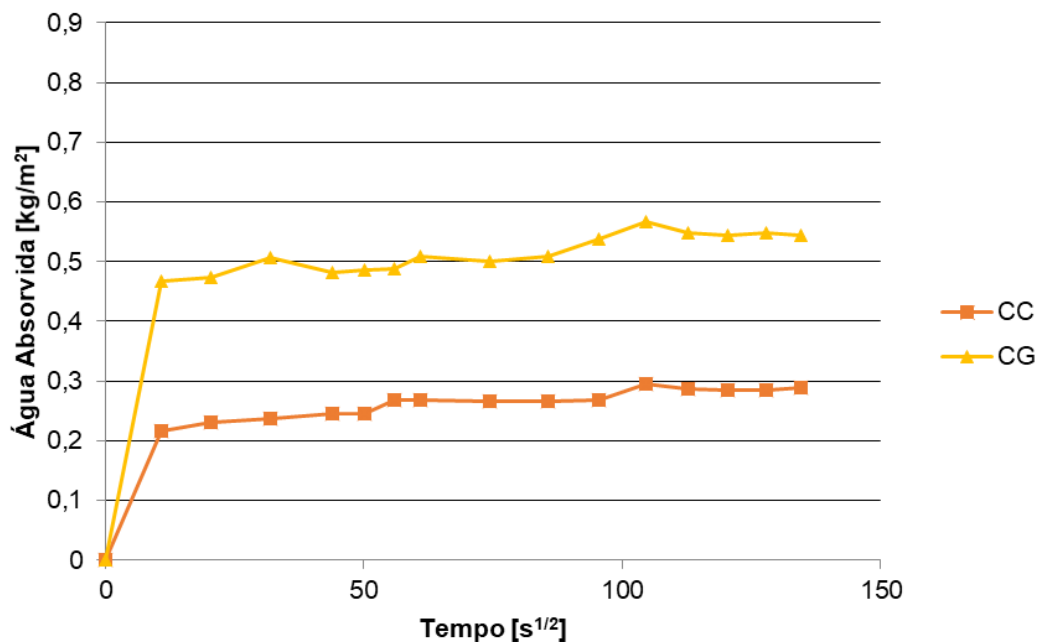


Figura 4.4 – Curvas médias de absorção por capilaridade de CC e CG

Na figura 4.5, estão representados o valor assintótico e o coeficiente de capilaridade. Relativamente ao valor assintótico, as conclusões são idênticas às que se podem tirar das curvas de absorção, observando-se, portanto, que CE é o material que absorve a maior quantidade de água por unidade de área. Quanto ao coeficiente de capilaridade, é possível concluir de que modo a camada de revestimento influencia na velocidade de absorção. Os revestimentos que apresentam uma maior velocidade de absorção de água são os com acabamento de ETICS (CE), sistema de pintura com caiação (CC) e com barramento de gesso (CG).

No que diz respeito a CC e CG, como o coeficiente de capilaridade é elevado, e, consequentemente, a velocidade de absorção é também mais elevada, é possível compreender o motivo pelo qual estes dois provetes estabilizaram mais rapidamente que os restantes em análise.

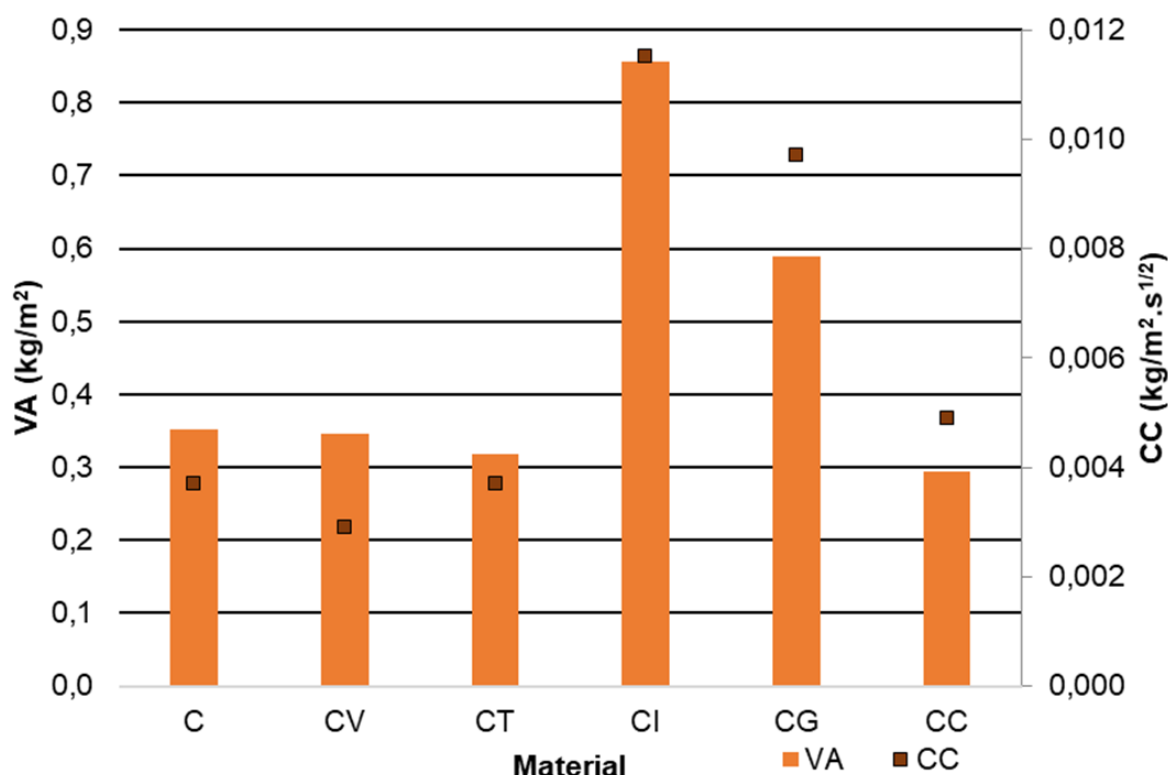


Figura 4.5 – Valor assintótico e respectivo coeficiente de capilaridade

4.1.4. Secagem

Os resultados referentes ao ensaio de secagem são apresentados em duas partes. Em primeiro, avalia-se o modo de secagem do material que esteve parcialmente imerso e, em seguida, apresentam-se os resultados correspondentes aos materiais que estiverem em contacto com uma lâmina de água.

De um modo geral, são mais favoráveis os materiais que apresentem maiores valores de D1 e D2, pois quanto maiores fossem esses valores, maior será a velocidade de secagem em ambas as fases do processo de secagem.

Nas figuras 4.6 e 4.7, apresentam-se as curvas médias das duas fases de secagem do material parcialmente imerso. Ainda que não tendo termo de comparação, através dos resultados obtido e dos declives das curvas, pode concluir-se que a primeira fase de secagem se dá de uma forma rápida nas primeiras cinco horas. Quanto à segunda fase de secagem, é mais lenta quando comparada com a primeira fase.

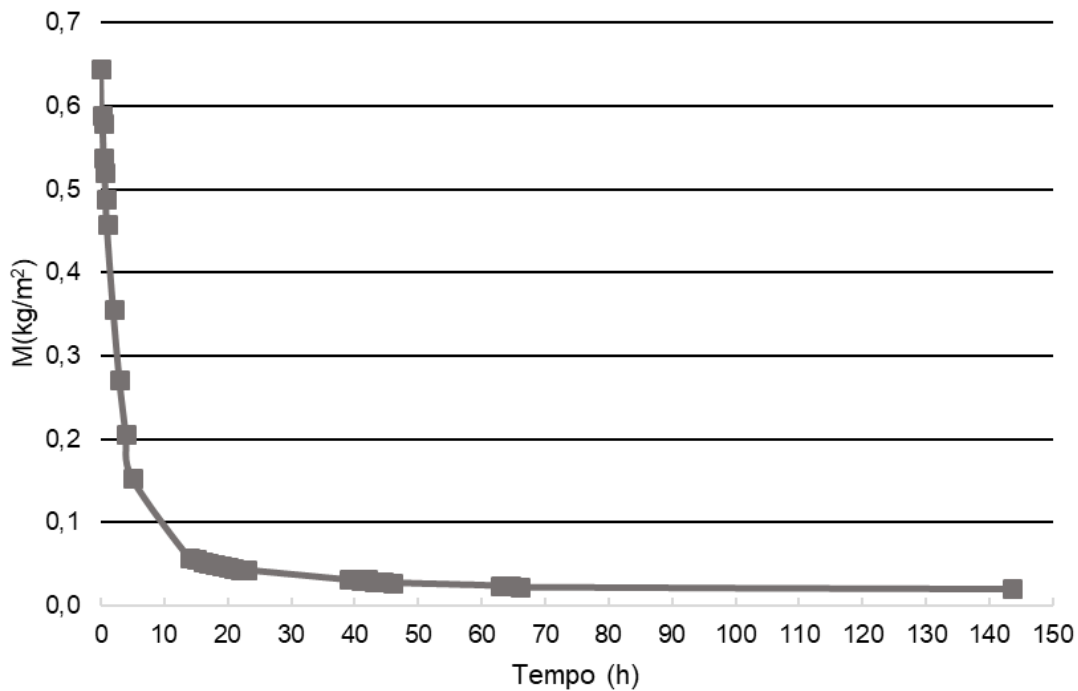


Figura 4.6 – Curva média de secagem de C por tempo

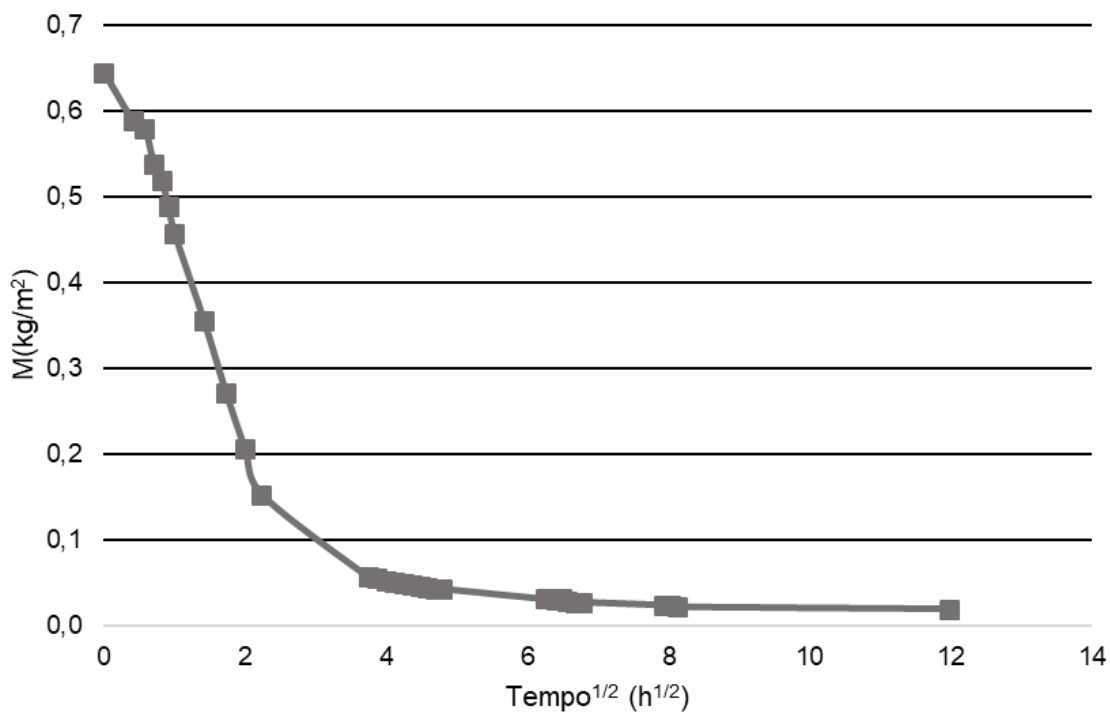


Figura 4.7 – Curva média de secagem de C por raiz do tempo

Tabela 4.1 – Média e desvio-padrão das taxas de secagem na 1ª e 2ª fases de secagem de C

	MÉDIA	DP
D1 [kg/m ² h]	0,096	0,009
D2 [kg/m ² h ^{1/2}]	0,208	0,012

Relativamente aos revestimentos, tal como no ensaio de absorção por capilaridade com, CE e CG obtém-se os maiores valores. Isto indica que estes são revestimentos que secam de forma mais rápida, em relação aos restantes materiais (figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11).

Em contrapartida, CE não seca totalmente, durante o período do ensaio. Não foi possível tirar resultados quanto à secagem efectiva de CE devido à limitação de tempo sentida. Portanto, apenas se pode concluir que a velocidade de secagem em ambas as fases é a mais rápida. Uma vez que apenas se conhece a composição do revestimento de CE, não sabendo ao certo a composição dos materiais, supõe-se que este não seca de forma tão rápida quanto aos restantes devido às diferentes camadas que possui. As camadas componentes, certamente têm respostas diferentes face à água.

Quanto a CG, destaca-se por ter sido o material que secou mais rapidamente, acabando até por perder massa. Esta perda de massa deve-se às propriedades do gesso que não resiste à humidade e é dissolvido em água. Neste caso, como estava directamente em contacto com a água, acabou por se dissolver perdendo massa.

Quanto aos restantes materiais em análise, não têm uma velocidade de secagem tão rápida, mas, ainda assim, apresentaram melhores resultados no que diz respeito à secagem propriamente dita. Nenhum deles secou totalmente, mas pelas razões referidas anteriormente, não foi possível determinar ao fim de quantos dias se dava a secagem efectiva.

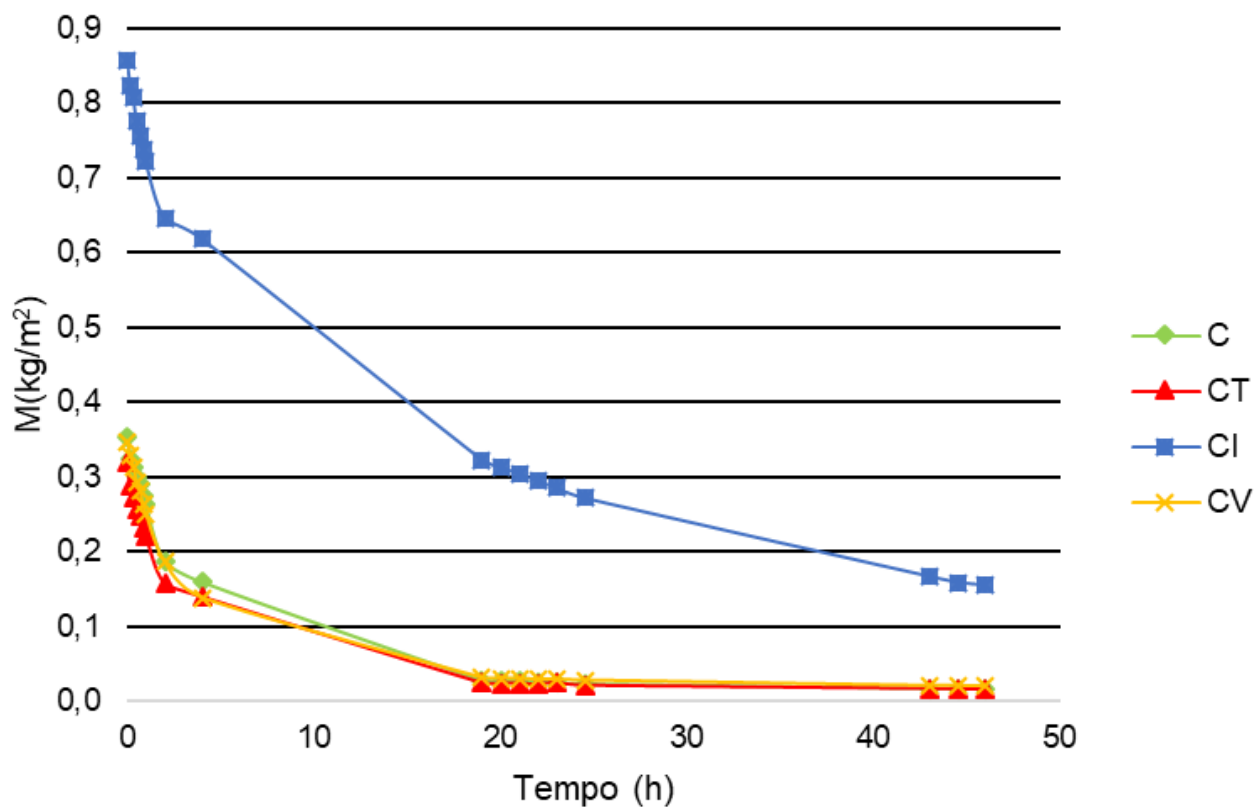


Figura 4.8 – Curva de secagem por tempo de C, CT, CE e CV

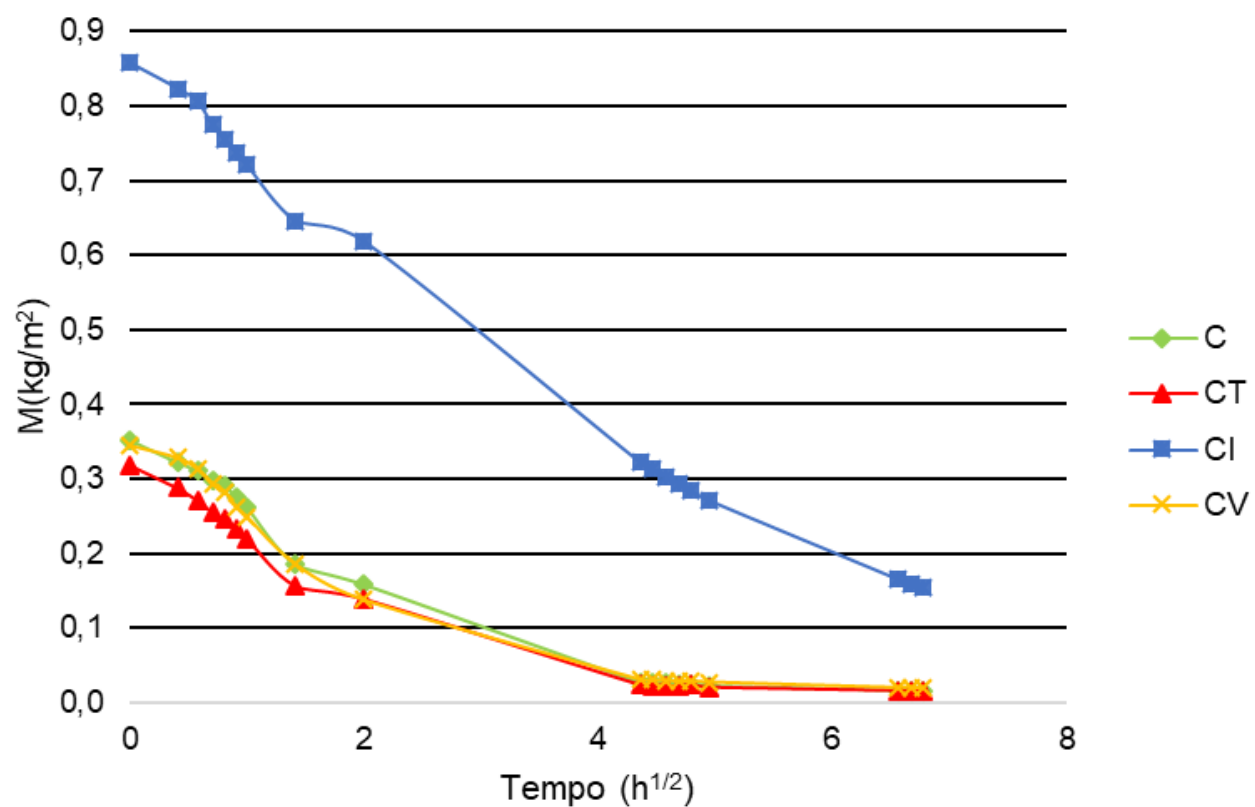


Figura 4.9 – Curva secagem por raiz do tempo de C, CT, CE e CV

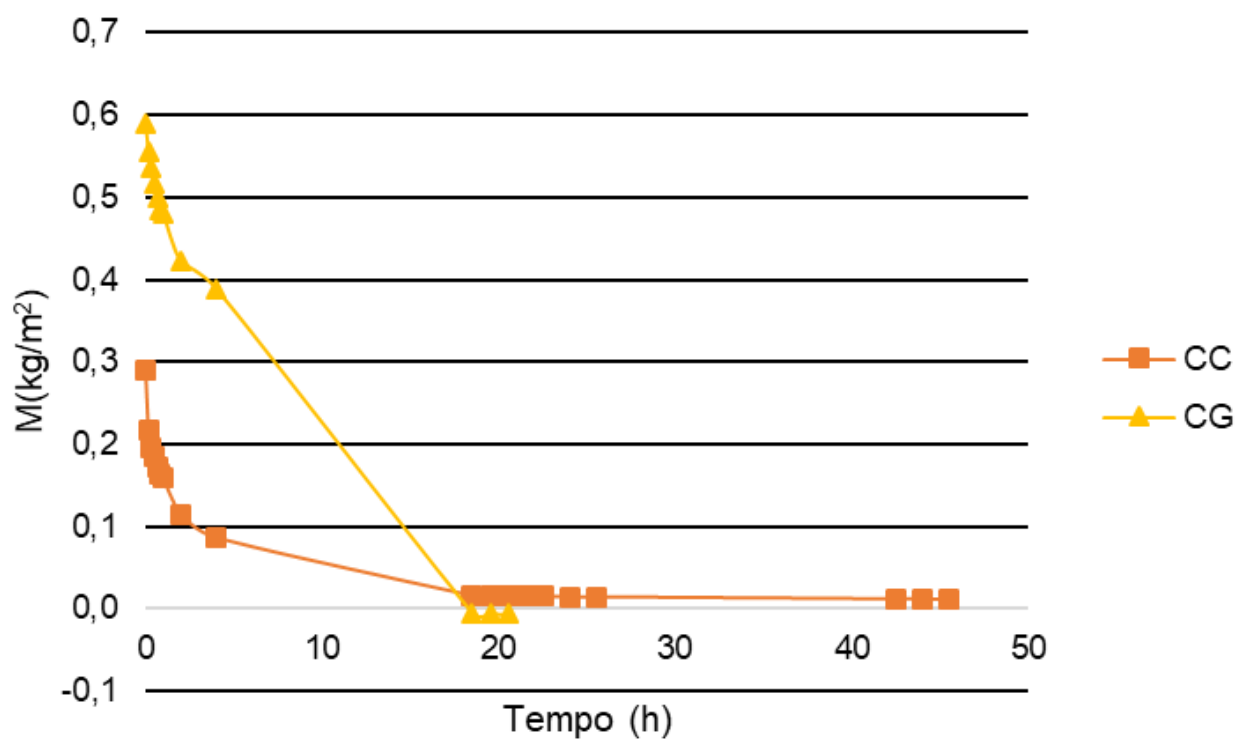


Figura 4.10 – Curva de secagem por tempo de CC e CG

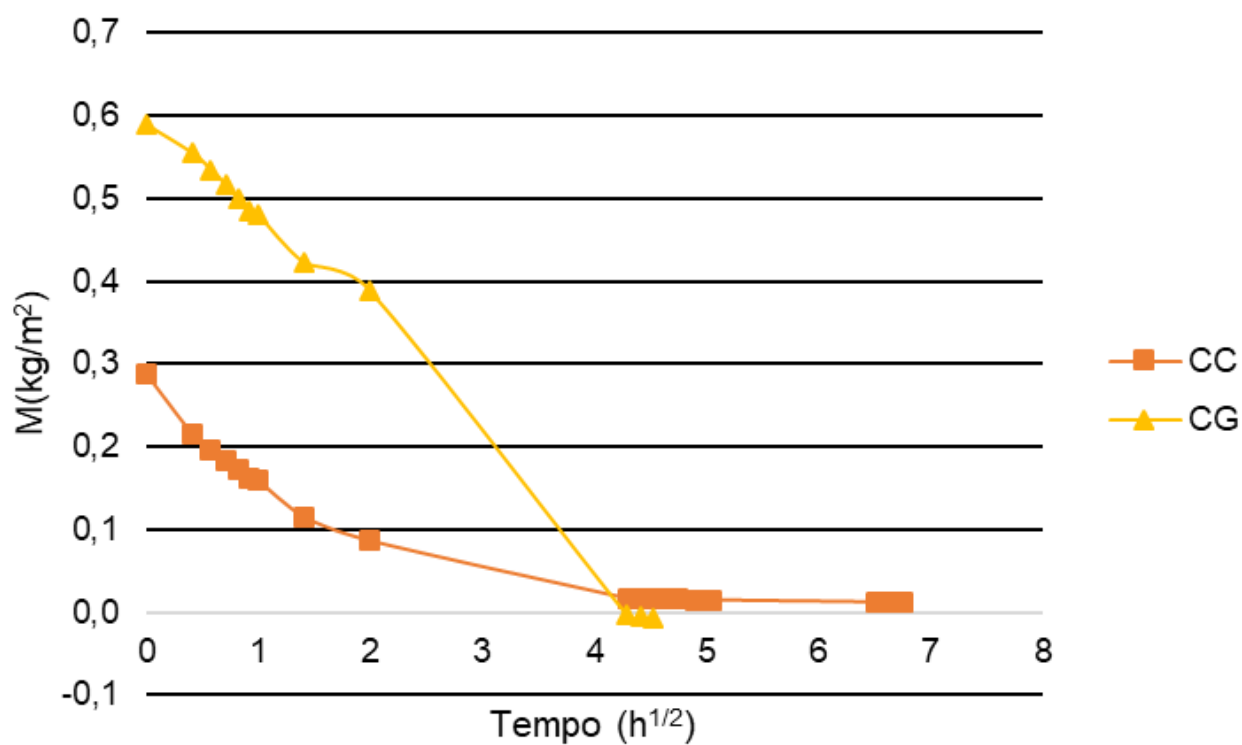


Figura 4.11 – Curva de secagem por raiz do tempo de CC e CG

Tabela 4.2 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio de secagem ao nível dos revestimentos

	D1 [kg/m ² h]		D2 [kg/m ² h ^{1/2}]	
	Média	DP	Média	DP
C	0,079	0,0002	0,110	0,002
CV	0,080	0,002	0,116	0,006
CT	0,078	0,002	0,118	0,005
CE	0,103	0,010	0,156	0,017
CG	0,079	0,001	0,118	0,007
CC	0,071	0,006	0,119	0,007

4.1.5. Reacção ao fogo

Como já foi referido anteriormente, o ensaio de reacção ao fogo fez-se consoante a norma EN ISO 11925-2, ou seja, com o material exposto à fonte de ignição durante 15 segundos. Na figura 4.12, é possível observar que o material após exposto à fonte de ignição durante 30 segundos, foi atingido pela chama na sua totalidade. Tendo por objectivo comparar como seria o comportamento dos materiais de revestimento e qual a sua reacção ao fogo, optou-se por manter os 15 segundos de exposição.

Quanto ao comportamento dos revestimentos, conclui-se que o sistema de pintura com verniz protege pouco o aglomerado negro de cortiça face ao fogo. Já quando se aplica um sistema de pintura com tinta plástica, esta protege pouco mais que o verniz.

No caso do aglomerado negro de cortiça com revestimento de ETICS, ainda que tenha sido aplicado um sistema de pintura com tinta plástica, apresenta melhor reacção ao fogo que CT, isto porque o sistema de acabamento com ETICS é composto por diversas camadas. Esta composição é benéfica face à reacção ao fogo.

No que toca à resistência ao fogo, o gesso é um material com elevada resistência. Tal deve-se, ao calor que é dispensado na desidratação do gesso. Note-se que o gesso é extraído de gesseiras, como tal pode conter impurezas. Quando se procede ao seu tratamento térmico, dá origem a diversos compostos sob uma reacção fortemente exotérmica, ou seja, liberta elevado calor.



Figura 4.12 – Provete exposto à fonte de ignição durante 15 segundos (esquerda) e 30 segundos (direita)

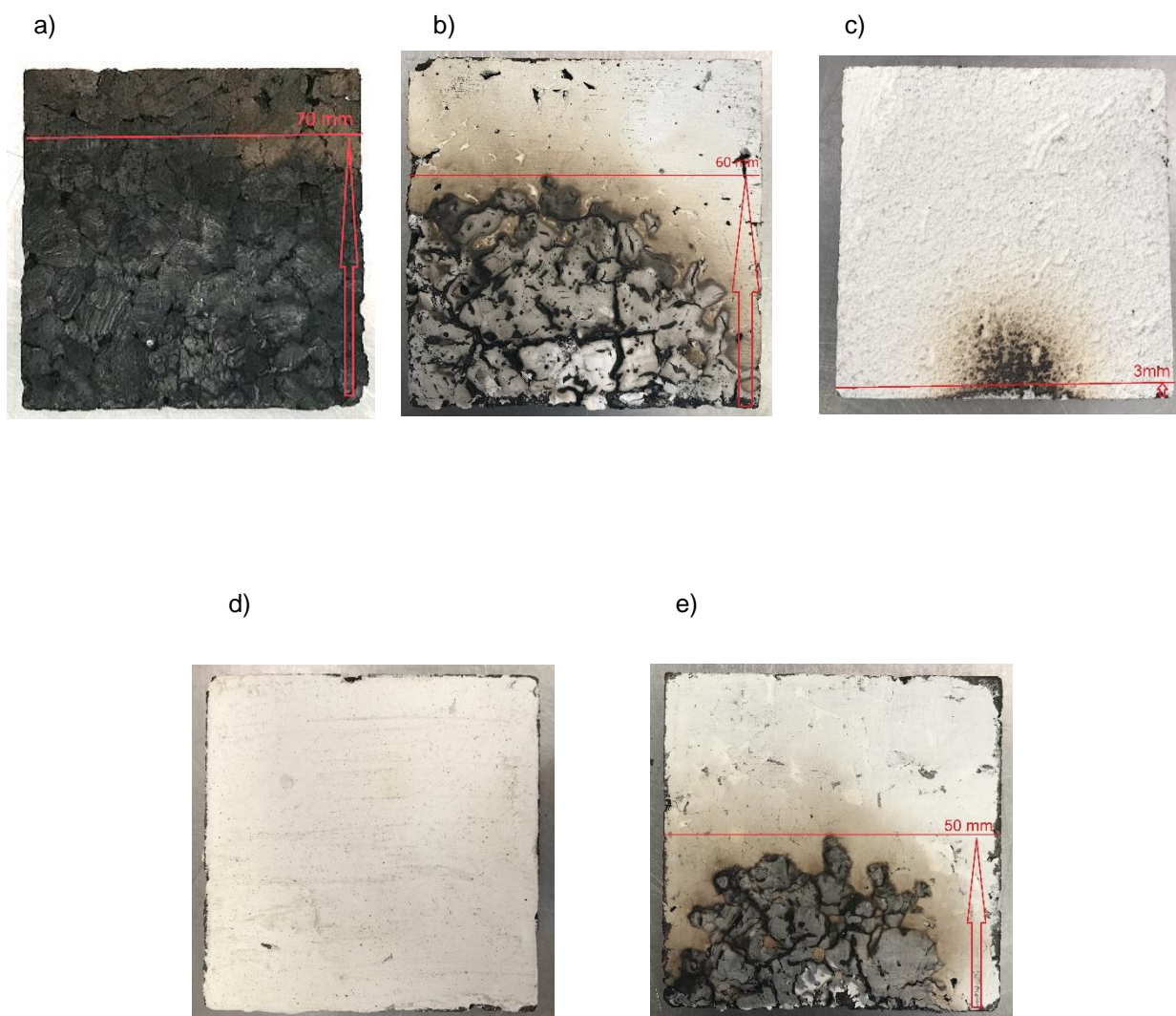


Figura 4.13 – Provete expostos à fonte de ignição durante 15 segundos: a) CV, b) CT, c) CE, d) CG e e) CC

4.2. Moisture Buffer Value

4.2.1. Estado estacionário

Nas figuras 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam-se os resultados provenientes da primeira variante do ensaio “MBV”, correspondente aos cinco primeiros dias após a estabilização dos provetes. O motivo pelo qual apenas se apresentam os resultados dos primeiros cinco dias, é que ao fim do sexto dia os provetes de RTG fracturaram. Posto isto, do sexto dia em diante, no estado estacionário, tornava-se difícil fazer comparações coerentes quanto ao comportamento dos materiais face às variações de humidade relativa.

Para o grupo dos aglomerados negros de cortiça (figura 4.14), os valores apresentam grande uniformidade. Verifica-se que, ao fim das 8h, apenas CC atingiu a sua capacidade máxima de armazenamento de humidade. Pois, o patamar que é possível observar antes do final do ciclo de adsorção significa que o material já não adsorveu mais humidade relativa.

O aglomerado negro de cortiça é o que apresenta uma variação de massa mais baixa, porque a cortiça tem na sua composição uma cera na parede dos poros que influencia a permeabilidade à água deste material. A permeabilidade à humidade pode ser menos afectada, mas também o é, tal como se pode comprovar pelos resultados obtidos. Daí este material apresentar uma baixa capacidade de adsorção.

Como Holcroft *et. al* (2015a) tinham concluído, há necessidade de estudar também o comportamento dos materiais de revestimento. Quase todos atingiram a sua capacidade máxima de armazenamento de humidade, tendo sido apenas CC a atingir. CG foi o provete que mais adsorveu humidade, devido à porosidade que o barramento de gesso apresenta. Esta porosidade é directamente influenciada pela quantidade de água utilizada na amassadura.

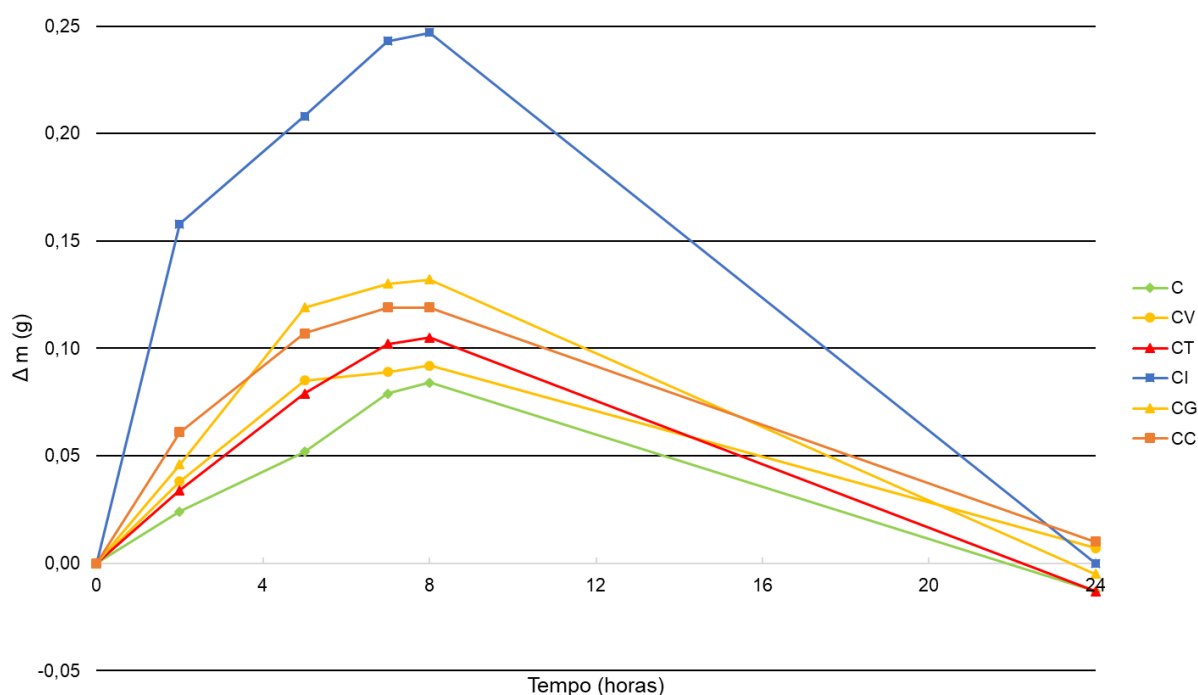


Figura 4.14 – Adsorção e desadsorção do aglomerado negro de cortiça

No que se refere ao grupo de materiais de rebocos à base de terra ilítica, estes apresentam valores de variação de massa muito superiores aos apresentados pelos materiais de aglomerado negro de cortiça (figura 4.15). Estes valores devem-se à alta higroscopicidade que estes rebocos apresentam.

Como já foi referido anteriormente, os rebocos à base de terra ilítica (RTS e RTG) analisados pertencem à campanha experimental de Lima *et. al* (2016a). Sabe-se que este tipo de rebocos apresenta uma elevada higroscopicidade, como é possível concluir da análise da figura 4.15. Esta higroscopicidade deve-se à argila que compõe estes rebocos podendo observar-se que nas primeiras horas a adsorção dá-se de uma forma extremamente rápida.

Como se conclui em Lima *et al.* (2016b), a adição de gesso penaliza a capacidade de adsorção e desadsorção do reboco, ainda que ligeiramente. Esta pequena penalização até pode ser vantajosa, uma vez que, na última hora do período de adsorção se observa que o provete está saturado. Assim, o gesso atrasa o processo de adsorção e a atrasa também a saturação do provete.

A adição de gesso apresenta ainda vantagens a nível mecânico, que não foram estudadas nesta dissertação. Ainda assim foi possível observar que oscilações consecutivas de humidade relativa não são benéficas, pois ao fim de cinco dias estes provetes começaram a fissurar. Com a disposição vertical em que se encontravam e a manipulação que sofreram, os provetes fracturaram, acabando por perder massa.

Os provetes com primário de silicatos apresentaram valores ligeiramente superiores pois este primário apresenta uma porosidade que permite tirar partido da elevada higroscopicidade que o reboco apresenta. Este primário de silicatos, foi colocado apenas com o intuito de amenizar o tom acastanhado do reboco quando aplicado no interior das habitações. Nestes provetes é possível observar uma saturação ao fim de quatro horas.

Acerca da pasta de argila e água, designada como reboco de terra ilítica (RT), conclui-se que apresenta uma capacidade de armazenamento de humidade idêntica a RTS e RTG. Tal deve-se à presença de argila na sua composição. Como já foi visto, a argila tem um mineral predominante na sua composição, a ilite, que apresenta uma boa capacidade de adsorção. Confirmou-se ainda que, com as variações consecutivas de humidade relativa, os provetes começaram a retrain e a apresentar diversas fissuras.

Tanto o reboco de cimento como as placas de gesso cartonado estiveram perto de atingir a sua capacidade de armazenamento de humidade, tendo as placas de gesso cartonado apresentado uma capacidade superior (figura 4.16). Isto deve-se ao facto de as placas de gesso cartonado não serem mais do que pedra de gesso condicionada de forma industrial e forrada, em ambas as faces, por cartão. Uma das características a destacar deste material, para além da dureza superficial é a sua higroscopicidade, daí apresentar uma capacidade de adsorção razoável.

O reboco de cimento apresenta uma capacidade de adsorção mais baixa quando comparado com as placas de gesso cartonado. Isto é justificável pela sua composição de água e cimento de traço 1:5., ou seja, uma parte de água em cada cinco partes de cimento, o que faz com que a porosidade do material diminua. Quanto menor a porosidade de um material, menor será a sua capacidade de adsorção de humidade.

Também se verifica que a capacidade de desadsorção é mais baixa, não libertando a totalidade da humidade relativa captada.

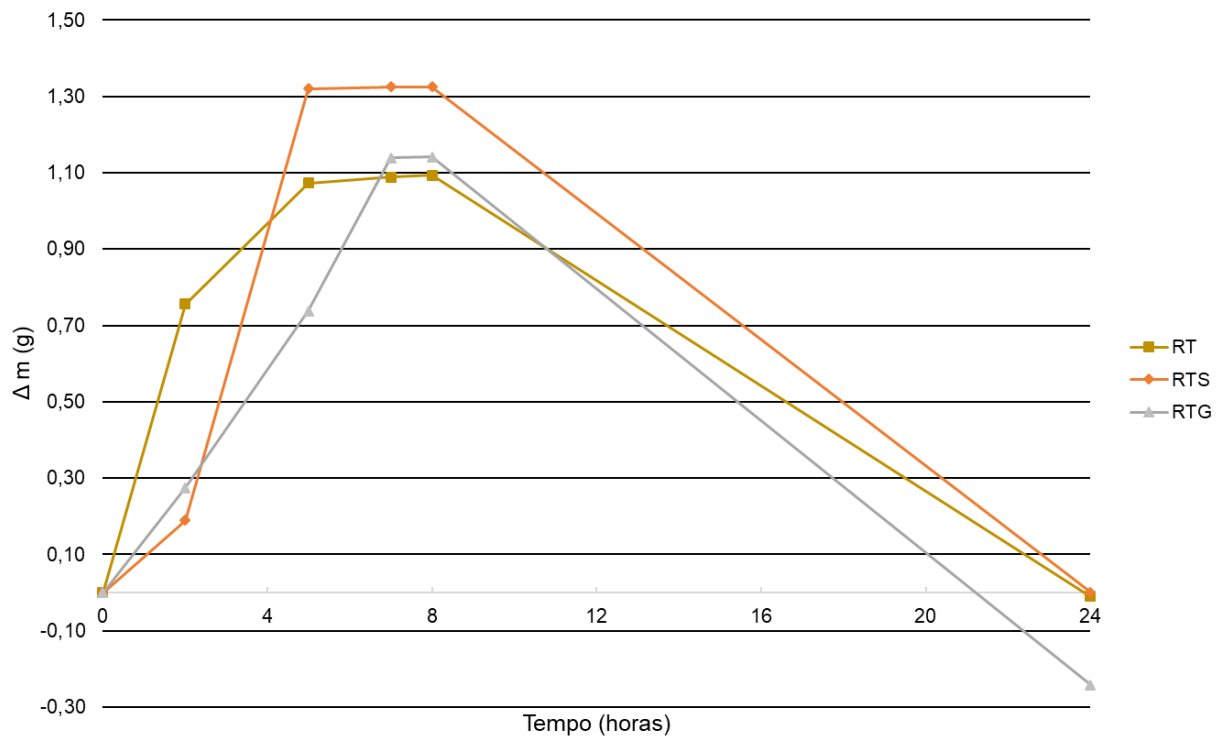


Figura 4.15 – Adsorção e desadsorção dos rebocos de terra ilítica

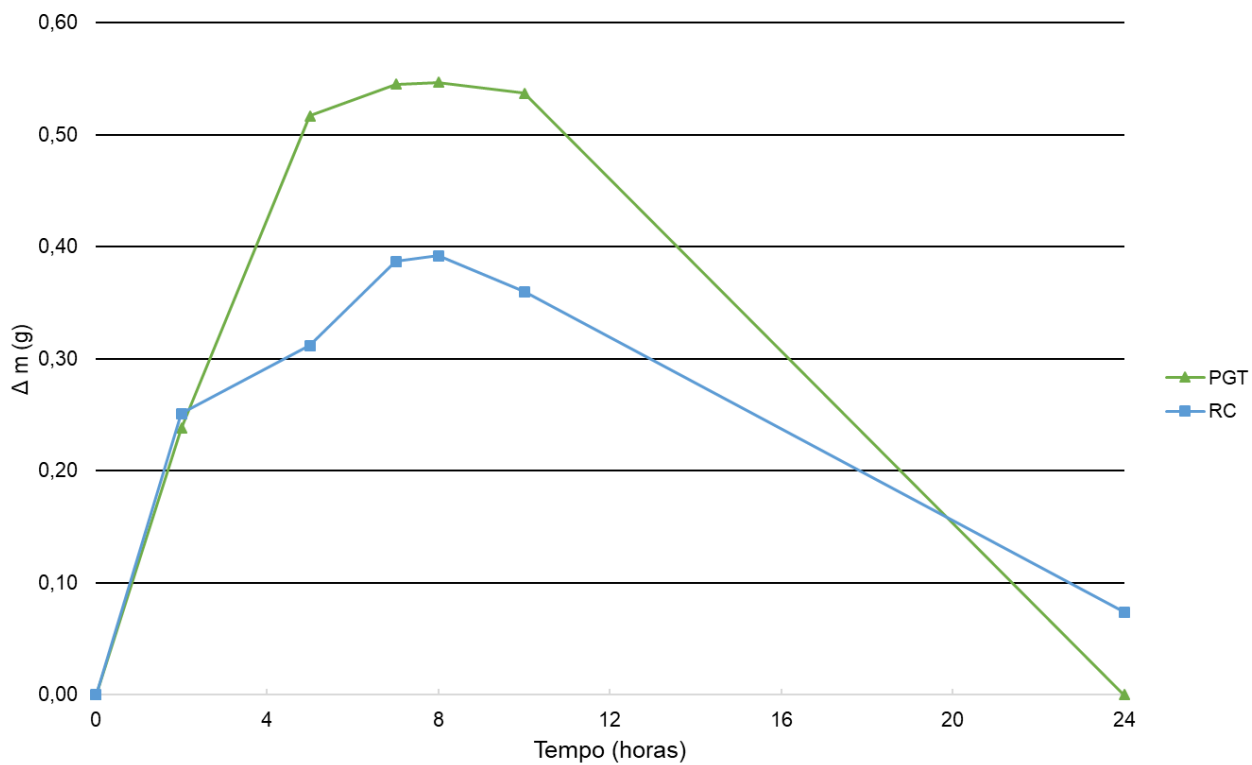


Figura 4.16 – Adsorção e desadsorção PGT e RC

4.2.2. Estado transiente

Aqui são apresentados os resultados do ensaio “MBV” para a fase de adsorção (*uptake*) e para a fase de desadsorção (*release*), nas condições de 60%-90% de variação de humidade relativa e 16°C de temperatura, que têm em conta a alteração dos valores do “MBV” ao longo do tempo.

Para o grupo dos aglomerados negros de cortiça os valores de “MBV”, ao longo de 15 dias, tanto para a fase de adsorção como para a fase de desadsorção são muito próximos, o que significa que tudo o que material consegue adsorver irá desadsorver na mesma quantidade, não ficando com humidade relativa armazenada (figura 4.17).

Dentro deste grupo, à exceção de CE, todos os elementos apresentam valores de MBV que se encontram dentro do intervalo de valores que é considerado limitado [0,2 – 0,5 g/(m².%HR)]. Tal significa que, para o controlo da variação da humidade relativa no interior dos compartimentos, a utilização do aglomerado negro de cortiça não é vantajosa.

Foram estudados aglomerados negros de cortiça sem acabamento e com acabamento. Verificou-se que quando era aplicado sistema de acabamento como sistema de pintura com verniz (CV), sistema de pintura com tinta plástica (CT), barramento de gesso (CG) ou sistema de pintura por caiação (CC), os valores de “MBV” subiam ligeiramente, ainda que permaneçam dentro do intervalo limitado.

Tanto o verniz como a tinta plástica são materiais porosos, o que lhes confere a capacidade de adsorver humidade e, consequentemente, devolvê-la ao ambiente sem danificar o material. Se não tivessem estas propriedades, a humidade adsorvida não iria ser restituída ao ambiente, criando empolamentos.

O sistema de pintura de verniz aplicado sobre o aglomerado de cortiça está formulado para conferir uma melhor resistência dinâmica à água mantendo de forma natural as características do material. Daí este sistema apresentar valores de “MBV” muito idênticos aos do aglomerado de cortiça sem acabamento. O mesmo acontece com o aglomerado de cortiça com sistema de pintura.

Quando aplicado barramento de gesso ou sistema de pintura por caiação, os valores de “MBV” apresentam um ligeiro acréscimo, ainda que dentro dos valores limitados. Estes dois tipos de revestimentos têm por base ligantes minerais, formulados, geralmente, em pó, o que lhes confere alguma porosidade e, consequentemente, capacidade de adsorver vapor de água.

Os valores de “MBV” do aglomerado de cortiça com ETICS (CE), foram os que apresentaram mais oscilações ao longo de 15 dias. Estas variações devem-se ao facto de serem constituídos por várias camadas, isto é, enquanto uma camada poderá estar ainda a adsorver humidade relativa, a camada adjacente já está na fase de desadsorção. Ainda que tenha sofrido oscilações na variação da massa, os valores são moderados [0,5 – 1,0 g/(m².%HR)]. Apesar de não ser utilizado como revestimento interior este sistema, foi o que apresentou melhores resultados.

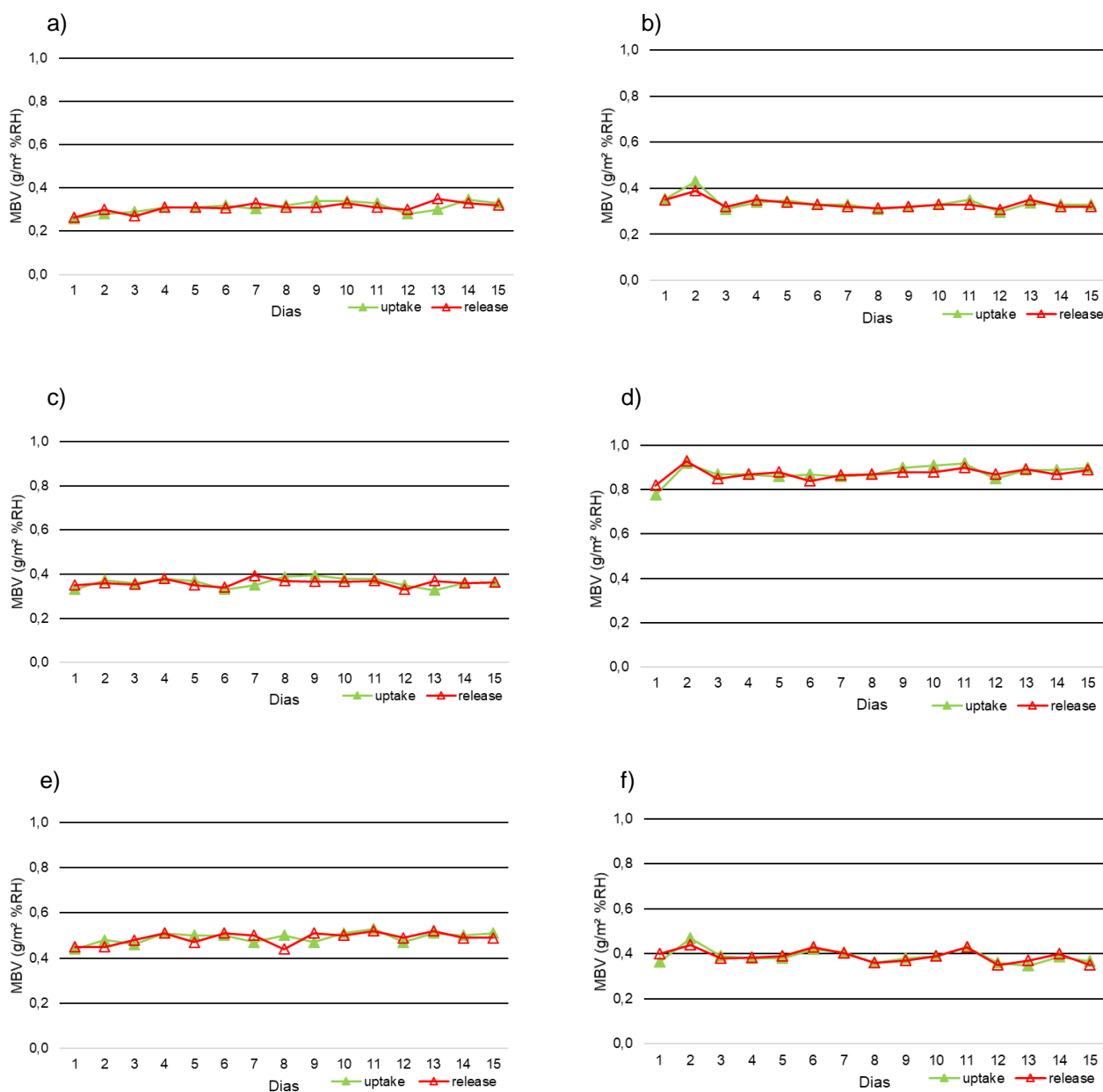


Figura 4.17 – Adsorção e desadsorção ao longo de 15 dias: a) C, b) CV, c) CT, d) CE, e) CG e f) CC

Da mesma forma que os rebocos de terra apresentam bons resultados na capacidade de adsorção e desadsorção, também estes são os que apresentam os melhores resultados de “MBV” (figura 4.18), inserindo-se como excelentes na escala de classificação da *Nordtest*.

Como já tinha sido referido no subcapítulo anterior, os rebocos à base de terra íltica apresentam uma higroscopicidade elevada, podendo ser considerados como bons materiais para regular as variações de humidade relativa registadas no interior dos compartimentos. Contudo, há ainda vários estudos a realizar no que diz respeito à retração que estes materiais apresentaram quando sujeitos a variações de humidade relativa de forma consecutiva. Apesar da óptima capacidade de armazenamento de humidade que

apresentam, estes materiais retraem e começam a fissurar, podendo até perder massa, como aconteceu neste estudo.

Nos seis primeiros dias, RTG apresentou um óptimo comportamento face à variação de humidade relativa. Dai em diante, a retração foi tal que os provetes começaram a fracturar, como é possível observar na figura 4.18. A partir do sétimo dia, em relação a RTG, já não foi possível tirar resultados conclusivos.

Nos provetes de RTS, também se verificou uma pequena fractura ao fim de doze dias. Nestes provetes não se registou retração, concluindo-se então que a fractura foi devida à forma irregular que estes têm.

Quanto a RT, registou-se o mesmo problema que em RTG, elevada retração. Estes provetes não chegaram a fraturar e, conseqüentemente, a perder massa, porque estavam dispostos na horizontal aquando do ensaio. Esta disposição não corresponde à realidade porque o objectivo seria usar estes materiais como revestimentos interior de paredes, pelo que a situação mais próxima da real seria dispor os provetes na vertical, como os restantes.

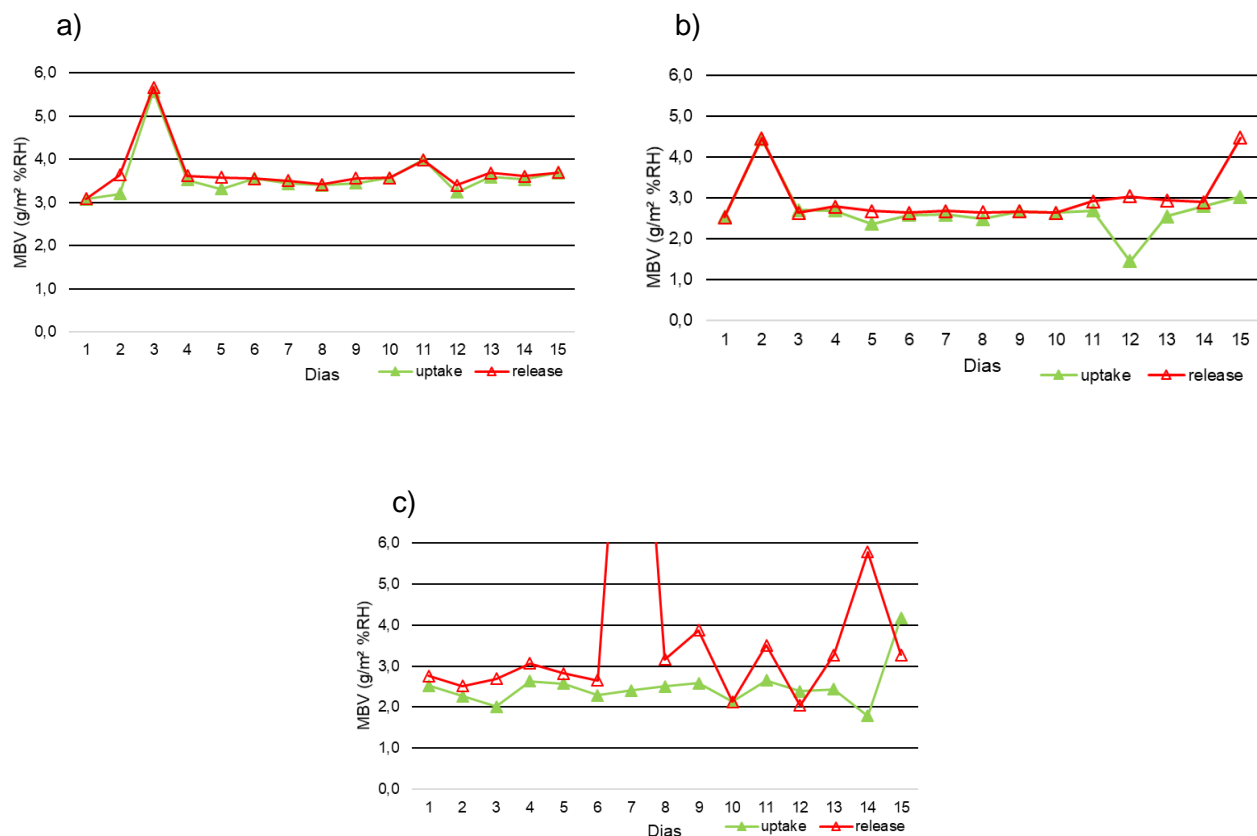


Figura 4.18 – Adsorção e desadsorção ao longo de 15 dias: a) RT, b) RTS e c) RTG

Através dos resultados de “MBV” ao longo de 15 dias consecutivos, é fácil comprovar que os valores da capacidade de adsorção e desadsorção para as placas de gesso cartonado são de facto muito próximos. Para além destas capacidades serem próximas, o que é vantajoso, uma vez que tudo o material adsorve

irá restituir ao ambiente, os resultados de “MBV” são classificados como bons na escala de classificação proposta pela *Nordtest*.

Tal como se viu anteriormente, o reboco de cimento tem uma capacidade de desadsorção mais baixa que a adsorção, como é possível observar na figura 4.19b). Neste caso, verifica-se o fenómeno de histerese, ou seja, a desadsorção é mais lenta que a adsorção.

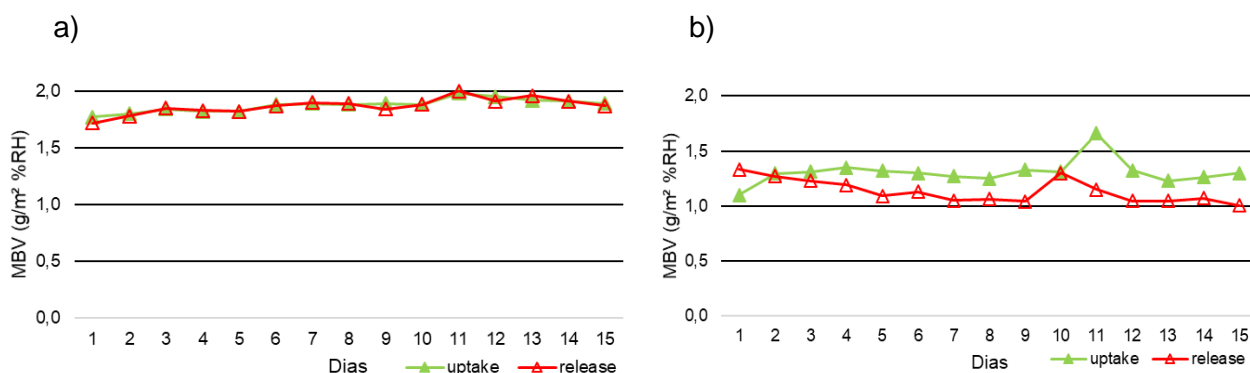


Figura 4.19 – Adsorção e desadsorção ao longo de 15 dias: a) PGT e b) RC

4.3. Síntese de resultados

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados do “MBV” médio e a respectiva quantidade de vapor de água adsorvida em $[g/m^2]$, obtida através da multiplicação do “MBV” pela variação da humidade relativa do ensaio. Todos estes resultados foram obtidos através de uma adaptação ao protocolo da *Nordtest* para uma temperatura de $16^{\circ}C$ e uma variação de humidade relativa de 30%, estando o intervalo compreendido entre 60% e 90%.

Através da análise da tabela 4.3, e dos gráficos representados anteriormente nas figuras 4.17, 4.18 e 4.19, é possível concluir que todos os grupos de materiais analisados, apenas o grupo dos aglomerados negros de cortiça obtiveram valores negligenciáveis na escala de classificação proposta pela *Nordtest*.

Já tinha sido também concluído que quanto mais higroscópicos fossem os materiais, melhores resultados de “MBV” apresentariam. Tal pode ser comprovado pelos valores obtidos para os rebocos à base de terra ilítica. Estes obtiveram os melhores resultados de todos, classificados como excelentes. Contudo, há ainda estudos a fazer para validar a utilização destes rebocos como revestimentos interior.

Também as placas de gesso cartonado e o reboco de cimento obtiveram bons resultados de “MBV”. Sendo estes os materiais mais comuns utilizados nas construções, pensa-se que o que há a mudar nas habitações são os hábitos dos ocupantes relativamente à humidade relativa existente.

Tabela 4.3 – Síntese dos resultados obtido no ensaio “MBV”

		MBV médio (g/m².%HR)		MBV médio× ΔHR (g/m²)	
		Protocolo Nordtest (Rode et. al/ 2005a): 8h-16h; 16°C; 60%-90%			
		Média	DP	Média	DP
AGLOMERADO DE CORTIÇA	C	0,31	0,02	9,30	0,67
	CV	0,31	0,03	9,40	0,79
	CT	0,37	0,02	11,00	0,49
	CE	0,86	0,03	25,90	0,90
	CG	0,46	0,02	13,90	0,54
	CC	0,40	0,02	11,90	0,73
REBOCOS DE TERRA ILÍTICA	RT	3,49	0,21	104,73	6,24
	RTS	3,09	0,17	92,81	5,17
	RTG	3,06	2,87	91,95	86,09
PLACAS DE GESSO CARTONADO	PGT	1,83	0,07	55,00	2,06
REBOCO DE CIMENTO 1:5	RC	1,08	0,11	32,30	3,24

Ramos 2007, analisou o comportamento de vários materiais para as condições estabelecidas no protocolo da *Nordtest*. Para os mesmos materiais, variou-se a temperatura a que estes estavam sujeitos para avaliar de que modo se alterava o comportamento.

Na tabela 4.4, são apresentados os resultados obtidos por Ramos 2007. Este conclui que, com o abaixamento da temperatura, os resultados de “MBV” diminuíram, pois estão sujeitos a uma diferença de pressão de vapor mais reduzida. Esta conclusão é fácil de entender através da análise do diagrama psicrométrico, onde é possível compreender que, para o mesmo intervalo de humidade relativa, quando existe uma redução da temperatura, a concentração de vapor é menor. Sendo menor, os materiais não irão adsorver tanta humidade, porque como a concentração de vapor é menor, a quantidade de vapor de água por unidade de volume é também menor.

Relativamente ao gesso cartonado, que foi um material analisado nesta dissertação e por Ramos 2007, é possível concluir que para a mesma temperatura, Ramos 2007 obteve um valor de “MBV” inferior ao obtido neste estudo. Contudo, note-se que o intervalo de variação de humidade relativa é diferente. Para a mesma temperatura, Ramos 2007, considerou uma variação de humidade relativa entre 33% e 75%, o que corresponde a uma concentração de vapor de água compreendida entre 4,3 e 9,5 g/m³, aproximadamente, através da análise do diagrama psicrométrico. Neste estudo, considerou-se uma variação de humidade relativa entre 60% e 90%, o que corresponde a uma concentração de vapor de água compreendida entre os 7,7 e os 11,3 g/m³, aproximadamente.

É, então, possível compreender porque é que neste estudo o valor de “MBV” para o gesso cartonado foi superior. De facto, quando a humidade relativa é superior, para a mesma temperatura, a concentração de vapor de água também é superior, ou seja, a quantidade de vapor por unidade de volume é superior. Uma vez que o gesso cartonado apresenta elevada higroscopicidade, irá adsorver humidade consoante a sua capacidade de adsorção. Constatou-se na figura 4.16, que para 16°C e uma humidade relativa compreendida entre 60% e 90%, estas placas estiveram próximas da sua capacidade máxima de adsorção.

Desta análise, conclui-se que faz sentido prescrever soluções à base de gesso em ambientes como o estudado nesta dissertação. Refira-se ainda que o ambiente higrotérmico simulado neste estudo corresponde ao ambiente registado nalguns edifícios em Portugal.

Tabela 4.4 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio “MBV” de Ramos 2007

Referências	Material	Espessura (mm)	MBV (g/(m ² .%HR))	
			8h-16h; 23°C; 33%-75%	8h-16h; 15°C; 33%-75%
RAMOS 2007– Protocolo <i>Nordtest</i> (Rode <i>et. al</i> 2005a)	Gesso cartonado (GC)	12,5	0,75	0,63
	Gesso projectado (GP)	21,0	0,72	0,61
	Reboco de gesso e cal (GT)	10,0	0,47	0,42

Rocha 2016, também se baseou no protocolo da *Nordtest* e avaliou o comportamento de vários materiais, tais como argamassas, materiais pré-doseados e materiais pré-fabricados. Este avaliou-os segundo as condições propostas pela *Nordtest* e em seguida avaliou como os mesmos se comportavam quando se reduzia o intervalo de variação de humidade relativa. Na tabela 4.5, são apresentados os resultados que este autor obteve.

Este autor conclui que, no caso das argamassas, os resultados do “MBV” são muito homogéneos, verificando-se que na grande maioria a diminuição da variação de humidade relativa aumenta a capacidade de “MBV” (Rocha 2016). Embora os resultados sejam muito próximos, contacta-se que a capacidade de adsorção aumenta ligeiramente. Isto porque, para o ciclo em que a humidade relativa é mais baixa, o ciclo de adsorção, a quantidade de vapor de água no ar aumentou.

Quando a humidade relativa se encontra a 33% a uma temperatura de 23°C, a concentração de vapor de água é cerca de 6,8 g/m³. Quando, para a mesma temperatura, a humidade relativa sobe para 50% e 60%, a concentração de vapor de água toma os valores de 10g/m³ e 12 g/m³, respectivamente. Entre estes dois valores, a diferença não é significativa, sendo suficiente para a capacidade máxima de adsorção ser atingida ou então para reduzir a capacidade de desadsorção.

Tal como para as argamassas, também para o estuque de gesso e para o revestimento de celulose projectado este autor concluiu que a capacidade de “MBV” aumenta com a diminuição do intervalo de humidade relativa. Os provetes de estuque continuam a apresentar um comportamento limitado para

adsorção de humidade, pois existe uma tendência para um patamar após algumas horas de transição de humidade. Este patamar foi possível de observar nos gráficos do ciclo estável obtidos por Rocha 2016.

Para as placas de gesso cartonado, placas de fibra de madeira e ligante e placa de celulose reciclada, verifica-se o oposto, ou seja, uma redução nos valores de “MBV” quando se diminui o intervalo de humidade relativa. Uma das explicações para este comportamento é o facto destes materiais serem muito higroscópicos e apresentarem uma resposta rápida à transição de humidade relativa. Com a diminuição do intervalo de humidade relativa, estes materiais tendem a estabilizar para os níveis de humidade relativa curtos, pelo que a desadsorção do material é menor (Rocha 2016).

Tabela 4.5 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio “MBV” de Rocha 2016

Referências	Material	Espessura (mm)	MBV (g/(m ² .%HR))		
			8h-16h; 23°C; 33%-75%	8h-16h; 23°C; 50%-75%	8h-16h; 23°C; 60%-75%
ROCHA 2016 – Protocolo <i>Nordtest</i> (Rode <i>et. al</i> 2005a)	Argamassa de cal hidráulica	15,00	0,65	0,65	0,69
	Argamassa bastarda*	15,00	0,83	0,91	0,89
	Argamassa cimentícia	15,00	0,87	0,99	0,94
	Argamassa à base de terra	15,00	1,83	1,98	2,12
	Estuque de gesso (1)	15,00	0,47	0,50	0,54
	Revestimento de celulose projectado (2)	13,09	2,21	2,40	2,44
	Placas de fibra de madeira e ligante	29,56	2,85	1,68	1,67
	Placas de gesso cartonado	12,62	0,69	0,64	0,63
	Placas de celulose reciclada	12,62	1,33	1,23	1,20

* de cimento Portland II, cal aérea e areia C, traço volumétrico 1:1:6 (Faria 2004)

Em Rocha 2016, é possível observar que no grupo das argamassas à base de terra, o valor da capacidade de armazenamento de humidade “MBV” aumenta com a diminuição do intervalo de humidade relativa. Tal como se conclui nesta dissertação, as argamassas à base de terra possuem uma higroscopicidade elevada e, consequentemente, uma grande capacidade de adsorção e desadsorção.

O estudo de Holcroft *et. al* 2015a, baseou-se na norma ISO 24353:2008. Esta norma estabelece ciclos de adsorção e desadsorção de 12 horas, pelo é difícil fazer qualquer tipo de comparação com o que foi estudado nesta dissertação e até mesmo com outras referências bibliográficas analisadas. Contudo, deste estudo é possível concluir que materiais à base de bio-agregados são os que, de facto, apresentam melhores resultados no que diz respeito à capacidade de armazenamento de humidade.

Observa-se que, quando é aplicado um revestimento, este afecta o valor de “MBV”. Daí este autor ter salientado a importância do estudo dos materiais de revestimento. Neste caso, os revestimentos reduziram o valor de “MBV”, mas os materiais escolhidos também apresentam um bom desempenho face à adsorção de humidade. Note-se que, quando um material é revestido, não se avalia apenas o material de revestimento, mas sim o conjunto.

Tabela 4.7 – Síntese dos resultados obtidos no ensaio “MBV” de Holcroft *et. al* 2015a

Referências	Material	MBV (g/m ²)	MBV (g/(m ² .%HR))
		12h-12h; 23°C; 53%-75%	
Holcroft <i>et. al</i> 2015a - ISO 24353:2008	Limalha de cânhamo	97	4,41
	Cânhamo-cal revestido com gesso de cal	23	1,05
	Cânhamo-cal revestido com gesso de argila	33	1,50
	Lã de ovelha	54	2,45
	Lã de ovelha revestida com placa de gesso	21	0,95
	Fibra de cânhamo	45	2,05
	Fibra de cânhamo revestida com placa de gesso	32	1,45
	Lã de vidro	0	0,00
	Lã de vidro revestida com placa de gesso	8	0,36

5. Conclusões

5.1. Considerações finais

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação permitiu avaliar o comportamento de vários materiais quanto à sua capacidade de armazenamento de humidade. Avaliou-se também a influência dos revestimentos interiores no controlo da humidade relativa.

A maior parte das conclusões foram referidas ao longo do trabalho. Contudo, a conclusão mais relevante a fazer acerca do estudo desenvolvido é que, apesar das inúmeras vantagens que a cortiça e materiais de construção à base de cortiça apresentam, os resultados são pouco satisfatórios no que diz respeito ao controlo das variações de humidade. Isto acontece porque a cortiça por si só não tem capacidade suficiente de adsorver/desadsorver humidade ambiente. Portanto, para as condições higrotérmicas testadas nesta dissertação, a cortiça não deve ser prescrita para esse fim.

Relativamente aos materiais de revestimento aplicados, verificou-se uma ligeira subida em relação ao valor do “MBV”. O dos ETICS foi o único onde se obteve um valor moderado, mas não é considerado relevante pois não é utilizado no interior.

Quanto aos restantes materiais de revestimento aplicados sobre a base de cortiça, o que obteve um melhor valor de “MBV” foi o barramento de gesso, ainda que limitado. O gesso é um material que apresenta como principal desvantagem o facto de não ser resistente à humidade, mas neste estudo verificou-se que esta conclusão não é tão linear. Dependendo do ambiente higrotérmico em que é aplicado o gesso pode ser uma boa opção como revestimento interior. Neste caso em que a temperatura era de 16°C e a variação de humidade oscilava entre 60% e 90%, o gesso demonstrou um bom comportamento. Neste intervalo de humidade a concentração de vapor é mais pequena, pelo que a humidade existente no ar possível de adsorver é inferior. O gesso apresenta ainda a vantagem de ser um material económico, bom isolante tanto a nível térmico como a nível acústico com uma óptima resistência ao fogo.

Quando é aplicado o sistema de pintura por caiação, verifica-se algo idêntico quando é aplicado barramento de gesso, só que neste caso o material atinge a saturação, pelo que não se assegura tão vantajoso como revestimento interior. Ou como revestimento interior quando o sistema de suporte é aglomerado negro de cortiça.

Os sistemas de pintura com tinta plástica e com verniz apresentam os menores valores de “MBV”. Isto acontece porque este tipo de materiais está concebido para ser impermeabilizante, tendo na sua composição resinas. Ainda que esses sistemas sejam relativamente porosos, devido às resinas nem todas as gotas de humidade conseguem atravessar os poros, daí a adsorção ser mais baixa.

Do estudo desenvolvido, foi possível compreender a eficácia dos materiais higroscópicos no que se refere ao controlo dos níveis de humidade relativa, como é o caso dos rebocos à base de terra. Da análise bibliográfica, concluiu-se que materiais de construção à base de terra são boas soluções para a moderação

de variações de humidade de forma passiva. Igualmente, as placas de gesso cartonado e o reboco de cimento revelaram-se bons moderadores de variação de humidade relativa.

Outra aspecto que se teve em consideração nesta dissertação foi o uso de materiais com baixa energia incorporada, como os biomateriais. Tal como se concluiu para os materiais de construção à base de terra, existem inúmeros materiais à base de bio-agregados que podem ser utilizados na construção civil. Este tipo de materiais apresenta uma elevada higroscopicidade e, por este motivo, são uma boa opção como revestimento interior para contribuir de forma passiva no controlo das variações de humidade relativa. Da bibliografia analisada, também se concluiu que o uso deste tipo de materiais que possuem uma boa capacidade de armazenamento de humidade, ajuda a reduzir o consumo de energia dos edifícios.

5.2. Propostas para desenvolvimentos futuros

De forma a dar continuidade ao trabalho desenvolvido na presente dissertação, sugerem-se alguns trabalhos futuros, como a execução de mais ensaios de “MBV” para os mesmos materiais, mas noutras condições higrotérmicas. Sugere-se este procedimento em particular para a cortiça, que para o controlo das variações de humidade, apresentou resultados menos satisfatórios.

Para além do estudo de materiais de suporte, sugere-se um estudo mais aprofundado no que se refere a materiais de revestimento. Já tinha sido concluído no estudo de Holcroft *et. al* (2015a) a importância do comportamento dos revestimentos na moderação da humidade relativa interior. Também nesta dissertação foi possível tirar a mesma conclusão, pelo que se propõe uma avaliação mais aprofundada sobre os revestimentos interiores utilizados. Ao nível dos revestimentos interiores, propõe-se não apenas ensaios de “MBV” como outros ensaios de caracterização, como por exemplo, resistência mecânica, absorção de água e reacção ao fogo.

Uma vez que tanto os materiais de suporte como os revestimentos podem apresentar boas capacidades de armazenamento, há ainda que desenvolver mais trabalhos sobre o comportamento do elemento construtivo enquanto conjunto, não se limitando a estudar os materiais de forma isolada.

Referências bibliográficas

- Abadie, M. O., Mendonça, K. C. (2009) Moisture performance of building materials: From material characterization to building simulation using the Moisture Buffer Value concept. *Building and Environment*, 44(2), 388–401.
- Amziane S. (2017), *Bio-aggregates Based Building Materials. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 236-BBM*, RILEM, Springer.
- Annex 53 (2013) – Final Report Annex 53, Total energy use in buildings – analysis and evaluation methods. EBC, Energy in Buildings and Communities Programme.
- ANSI/ASHRAE (1992) - ANSI/ASHRAE-55: Thermal environmental conditions for human occupancy ASHRAE, Atlanta.
- Ansona (n.d.) Ficha Técnica Sonaspray ST (K-13) Celulose Projectada isolamento térmico acústico
- Arrigoni A., Grillet A., Pelosato R., Dotelli G., Beckett C. T. S., Woloszyn M., Ciancio D. (2017), Reduction of rammed earth's hygroscopic performance under stabilisation: an experimental investigation. *Building and Environment*, 115, 358–367.
- ASTM (2004) American Society for Testing and Materials (ASTM) - C 1498:04 - Standard test method for hygroscopic sorption isotherms of building materials, ASTM.
- Brás A., Leal M., Faria. P. (2013), Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance. *Construction and Building Materials*, 49, 315–327.
- Bornehag, C.-G; Blomquist, G; Gyntelberg, F; Jarvholm, B; Malmberg, P; Nordvall, L; Nielsen, A; Pershagen, G; Sundell, J. (2001) – Dampness in Buildings and Health. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to “Dampness” in Buildings and Health Effects (NORDDAMP). *Indoor Air* 11, 72-86.
- CEN (2009). EN 13501-1:2007+A1 - Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. Brussels, CEN.
- CEN (2013). EN 16322:2013 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties. Brussels, CEN.
- CEN (2013). EN 1609:2013 – Thermal insulating products for building applications – Determination of short term water absorption by partial immersion. Brussels, CEN.
- CEN (2015). EN 13170:2012 +A1 – Thermal insulation products for – Factory made products of expanded cork (ICB). Brussels, CEN.

- Correia, D. (2016) "Argamassas de terra para rebocos interiores - Influência da adição de gesso e da granulometria da areia". Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - Perfil Construção. FCT-UNL, Lisboa.
- Coutinho, J. S. (2006), "Ligantes e Caldas" 1ª Parte, Materiais de Construção 2. Departamento de engenharia civil. FEUP, Porto.
- Dias, A. (2015), "Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 com metacaulino - Caracterização após três anos em cura laboratorial e marítima". Dissertação para a obtenção de grau mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção. FCT-UNL, Lisboa.
- Fang, L., Clausen, G., Fanger, P. (1998). Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. *Indoor Air*, 8 (2), 80–90.
- Faria, P. (n.d.) "Revestimentos de Paredes". Sebenta da unidade curricular de Revestimentos e Acabamentos. FCT-UNL, Lisboa.
- Faria P. (2004), "Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes," Dissertação Douturamento em Eng. Civil. FCT-UNL, Lisboa.
- Ferreira, A. (2013), "Argamassas industriais para rebocos de edifícios antigos - comportamento face à acção de sais solúveis". Dissertação para obtenção de grau mestre em Engenharia Civil. IST-UL, Lisboa.
- Ferreira C., Freitas V. P., Ramos N. M. M. (2015) "Influence of hygroscopic materials in the stabilization of relative humidity inside museum display cases". *Energy procedia* 78 (2015) 1275 – 1280
- Gil L. (2009) "Cork Composites: A review" Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P., Unidade de Tecnologia da Cortiça, Lisboa, Portugal. ISSN 1996-1944, *Materials* 2009, 2, 776-789.
- Ginja J., Borrego C., Coutinho M., Nunes C., Morais-Almeida M. (2012) "Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas". Congress of Innovation on Sustainable Construction, 1–10.
- Guerreiro, C. (2007). ARGAMASSAS - Metodologias e procedimentos de ensaio. Excerto da dissertação "Estudo e caracterização de argamassas de cimento aérea, medianamente hidráulicas e de ligantes mistos para rebocos de edifícios antigo". IST-UL, Lisboa.
- Hagentoft, C. (2001), Introduction to Building Physics. Lightning Source.
- Henriques F. (2007), Humidades em Paredes. Coleção Edifícios, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Henriques F. (2011), "Comportamento Higrotérmico de Edifícios." Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica.
- Holcroft N., Shea A. (2015), "Moisture buffering and latent heat effects in natural fibre insulation materials".

University of Bath, Department Architecture and Civil Engineering, Bath, UK; BRE Centre for Innovative Construction Materials, UK.

Holcroft N., Shea A. (2015), "Effect of compaction on moisture buffering of hemp-lime insulation". First International Conference on Bio-Based Building Materials, (October), 542–546.

ISO (2008). International Standard, ISO 24353:2008 Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of moisture adsorption/desorption properties in response to humidity variation.

Janssen H., Roels S. (2009), Qualitative and quantitative assessment of interior moisture buffering by enclosures. *Energy and Buildings*, 41(4), 382–394.

Jorne, F. (2010), *Análise Do Comportamento Higrotérmico De Soluções Construtivas De Paredes Em Regime Variável*. Dissertação para a obtenção de grau mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção. FCT-UNL, Lisboa.

Künzel H. (1995), "Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters." Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart.

Lima J., Faria P., Silva A. S. (2016a), "Earthen Plasters Based on Illitic Soils from Barrocal Region of Algarve: Contributions for Building Performance and Sustainability". *Key Engineering Mater.*, 678, 64–77.

Lima J., Correia D., Faria P. (2016b) "Rebocos de terra: influência da adição de gesso e da granulometria de areia". II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento - Coimbra.

Lima J, Faria P (2016c), Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. *Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications. From Science to Markets*, Figueiredo, Raul, Rana, Sohel (Eds.). Springer, RILEM Book Series, 12, 315-327

Lima J., Ferreira M., Faria P. (2017) "Rebocos de terra: caracterização higroscópica e face à presença de água líquida". CREPAT 2017, 21-29

Machado, N. (2006), *Variação dimensional da madeira devida ao seu comportamento higroscópico*. Dissertação de mestrado, FEUP, Porto.

McGregor F., Heath A., Shea A., Lawreice M. (2014), "The moisture buffering capacity of unfired clay masonry", *Building and Environment* 82 (2014) 599-607.

McGregor F., Heath A., Maskell D., Fabbri A., Morel J. (2015), "A review on the buffering capacity of earth building materials". *Construction materials*. ICE publishing.

Moura, I. (2009), *A importância dos revestimentos interiores no controlo da humidade relativa interior*.

Dissertação de mestrado, FEUP, Porto.

- Osanyintola, O.F., Simonson, C.J. (2006). Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact. *Energy and Buildings*. 38(10): 1270-1282.
- Padfield T. (1998), "The role of absorbent building materials in moderating changes of relative humidity, PhD thesis," Department of Structural Engineering and Materials, The Technical University of Denmark, Denmark.
- Padfield T. (1999), "Humidity buffering of interior spaces by porous, absorbent insulation - Part of Hygrothermal properties of alternative insulation materials," Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark, Denmark.
- Padfield T. (1999), "Humidity buffering of the indoor climate by absorbent walls," The National Museum of Denmark, Denmark.
- Pinto M, Freitas VP, Viegas J. (2007) - Eficiência Energética nos edifícios - Qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação. *Engenharia e Vida* n.38.
- Pires A. (2013), Avaliação do comportamento higroscópico das argamassas de reboco. Dissertação de mestrado. FCT-UNL, Lisboa.
- Ramos, N. (2007), A importância da inércia higroscópica no comportamento hidrotérmico dos edifícios. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. FEUP, Porto.
- Ramos N., Delgado J. M. P. Q., Freitas V. (2010), "Influence of finishing coatings on hygroscopic moisture buffering in building elements," *Constr. Build. Mater.*, 24, 12, 2590–2597.
- Rempel A. R., Rempel A. (2016), "Intrinsic Evaporative Cooling by Hygroscopic Earth Materials". *Geosciences* 2016, 6,38.
- Rocha, D. (2016), "Análise das potencialidades de utilização de inércia higroscópica em edifícios". Dissertação para a obtenção de grau mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção. FCT-UNL, Lisboa.
- Rode C., Peuhkuri R., Mortensen L. H., Hansen K. K., Time B., Gustavsen A., Ojanen T., Ahonen J., Svennberg K., Arfvidsson J. (2005a), "Moisture buffering of building materials, Report BYG-DTU R-126," Dinamarca.
- Rode C., Peuhkuri R., Hansen K. K., Time B., Svennberg K., Arfvidsson J., Ojanen T. (2005b), "Nordtest project on moisture buffer value of materials". AIVC Conference "Energy performance regulation", Bruxelas.
- Rodrigues, M. P. (2016) "Tintas, vernizes e revestimentos por pintura – Aplicação na indústria da

construção". LNEC.

- Roels, S., Janssen, H., (2006). A comparison of the Nordtest and the japanese test methods for the moisture buffering performance of building materials. *Journal of buildings physics*, 30, 137–161.
- Sen A., den Bulcke J. V., Defoirdt N., Arcker J. V., Perreira H. (2014) "Thermal behaviour of cork and cork components" . *Thermochimica Acta* 582 (2014) 94-100
- Sierra-Pérez J., Boschmonart-Rives J., Dias A. C., Abarrell X. (2016), Environmental implications of the use of agglomerated cork as thermal insulation in buildings. *Journal of Cleaner Production* (2016).
- Silva, R. (2017), Bioconsolidation of construction materials - Effect on the durability of an eco-efficient earthen plaster. *Dissertação para obtenção de grau mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção*. FCT-UNL, Lisboa
- Simões T., McGregor F., Fabbri A., Faria P. (2016), Contributo de betões de cânhamo na regulação passiva da humidade no interior dos edifícios, V Jornadas FICAL. Fórum Ibérico da Cal, Lisboa.
- Simonson, C. J. (2000), "Moisture, thermal and ventilation performance of Tapanila ecological house", in VTT (Ed.) VTT Research notes, VTT, Espoo.
- Simonson C J, Ojanen T, Salonvaara M, (2001), "Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures", in VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
- Simonson, C. J. (2004), "Heat and Mass Transfer Between Indoor Air and a Permeable and Hygroscopic Building Envelope: Part I – Field Measurements", in VTT Building and Transport Materials and Products, Finland.
- Sival (2010) Ficha Técnica - Project 2010 estuque projectado, gessos especiais.
- Time B. (1998), "Hygroscopic Moisture Transport in Wood, PhD," Department of Building and Construction Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- Yoshino H. (2013), Total energy use in buildings. Analysis and evaluation. Final report annex 53. International Energy Agency Programme on Energy in Buildings and Communities. IEA, Energy Technology Network.
- WHO (2009), Guidelines for indoor air quality. "Dampness and mould". WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark
- Zhang H., Yoshino H., Hasegawa K. (2011), "Assessing the moisture buffering performance of hygroscopic material by using experimental method". *Building and Environment* 48 (2012) 27-34.
- Zhang H., Yoshino H., Hasegawa K., Liud J., Zhange W., Xuan H. (2016) "Practical moisture buffering effect of three hygroscopic materials in real-world conditions". *Energy and Buildings* 139 (2017) 214-

), tem ano (2014). Tem coleção/editor. É só formatar como deve ser.

Anexo – Resultados individuais dos ensaios

Quadro A.1 – Condutibilidade térmica dos provetes de cortiça sem acabamento

Amostras		Espessura (mm)	Área (m ²)	λ (W/m.K)	Média	DP
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C_1	20	0,01	0,0506	0,051	0,0004
	C_2	20	0,01	0,0504		
	C_3	20	0,01	0,0514		

Quadro A.2 – Absorção de água por capilaridade de revestimentos referente a: C, CV, CT e CE

Amostras		Tempo (s ^{1/2})	0	11	20	32	44	50	56	61	74	86
		massa (kg)	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C_1		0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034
	C_2		0,030	0,031	0,031	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
	C_3		0,029	0,030	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
Cortiça com verniz (CV)	CV_1		0,029	0,030	0,030	0,030	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
	CV_2		0,031	0,031	0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,032	0,033	0,033
	CV_3		0,031	0,032	0,032	0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034
Cortiça com pintura c/ tinta plástica (CT)	CT_1		0,032	0,033	0,034	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
	CT_2		0,033	0,034	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
	CT_3		0,032	0,033	0,034	0,034	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Cortiça com ETICS (CE)	CE_1		0,075	0,079	0,079	0,080	0,081	0,082	0,081	0,082	0,082	0,082
	CE_2		0,080	0,083	0,085	0,085	0,085	0,086	0,085	0,087	0,087	0,088
	CE_3		0,077	0,081	0,081	0,082	0,083	0,083	0,083	0,084	0,083	0,084

Amostras		Tempo (s ^{1/2})	95	104	252	259	266	272	279	285	292
		massa (kg)	m11	m12	m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C_1		0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
	C_2		0,032	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
	C_3		0,031	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
Cortiça com verniz (CV)	CV_1		0,031	0,031	0,032	0,032	0,032	0,032	0,033	0,033	0,033
	CV_2		0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034
	CV_3		0,034	0,034	0,034	0,035	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035
Cortiça com pintura c/ tinta plástica (CT)	CT_1		0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035
	CT_2		0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
	CT_3		0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,036	0,035
Cortiça com ETICS (CE)	CE_1		0,082	0,082	0,084	0,083	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084
	CE_2		0,087	0,088	0,088	0,088	0,088	0,089	0,089	0,089	0,089
	CE_3		0,084	0,084	0,084	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085

Quadro A.3 – Absorção de água por capilaridade de revestimentos referente a: CG e CC

Amostras		Tempo (s ^{1/2})	0	11	20	32	44	50	56	61	74	86	95	104	113	120	128	135
		massa (kg)	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15	m16
Cortiça com pintura por caiação (CC)	CC_1		0,032	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
	CC_2		0,032	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,035	0,035	0,035	0,034	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
	CC_3		0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,036	0,035	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,000
Cortiça com barramento de gesso (CG)	CG_1		0,044	0,048	0,049	0,048	0,049	0,049	0,049	0,048	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,050	0,049
	CG_2		0,049	0,054	0,054	0,054	0,054	0,055	0,054	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
	CG_3		0,044	0,049	0,049	0,050	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050

Quadro A.4 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade

Amostras		Área (m ²)	VA [kg/m ²]			CC [kg/m ² .s ^{1/2}]		
				Média	DP		Média	DP
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C_1	0,01	0,375	0,353	0,024	0,004	0,004	0,0004
	C_2	0,01	0,353			0,005		
	C_3	0,01	0,317			0,004		
Cortiça com verniz (CV)	CV_1	0,01	0,345	0,345	0,043	0,003	0,003	0,0004
	CV_2	0,01	0,317			0,003		
	CV_3	0,01	0,418			0,004		
Cortiça com pintura c/ tinta plástica (CT)	CT_1	0,01	0,319	0,319	0,008	0,004	0,004	0,0006
	CT_2	0,01	0,317			0,004		
	CT_3	0,01	0,335			0,005		
Cortiça com ETICS (CE)	CE_1	0,01	0,857	0,857	0,022	0,012	0,012	0,0007
	CE_2	0,01	0,886			0,011		
	CE_3	0,01	0,831			0,012		
Cortiça com pintura por caiação (CC)	CC_1	0,01	0,289	0,289	0,093	0,005	0,005	0,0005
	CC_2	0,01	0,294			0,004		
	CC_3	0,01	0,095			0,005		
Cortiça com barramento de gesso (CG)	CG_1	0,01	0,506	0,589	0,050	0,009	0,010	0,0005
	CG_2	0,01	0,627			0,010		
	CG_3	0,01	0,589			0,010		

Quadro A.5 – Taxas de secagem na 1ª e 2ª fases de secagem

Amostras		Área (m ²)	D1 [kg/m ² .h]			D2 [kg/m ² .h ^{1/2}]		
				Média	DP		Média	DP
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C_1	0,01	0,079	0,079	0,0002	0,108	0,110	0,002
	C_2	0,01	0,079			0,113		
	C_3	0,01	0,078			0,110		
Cortiça com verniz (CV)	CV_1	0,01	0,080	0,080	0,002	0,116	0,116	0,006
	CV_2	0,01	0,085			0,127		
	CV_3	0,01	0,080			0,115		
Cortiça com pintura c/ tinta plástica (CT)	CT_1	0,01	0,085	0,078	0,002	0,129	0,118	0,005
	CT_2	0,01	0,076			0,113		
	CT_3	0,01	0,080			0,123		
Cortiça com ETICS (CE)	CE_1	0,01	0,089	0,103	0,010	0,134	0,156	0,017
	CE_2	0,01	0,114			0,175		
	CE_3	0,01	0,103			0,156		
Cortiça com pintura por caiação (CC)	CC_1	0,01	0,071	0,071	0,006	0,119	0,119	0,007
	CC_2	0,01	0,068			0,112		
	CC_3	0,01	0,082			0,128		
Cortiça com barramento de gesso (CG)	CG_1	0,01	0,076	0,079	0,001	0,118	0,118	0,007
	CG_2	0,01	0,080			0,124		
	CG_3	0,01	0,079			0,106		

Quadro A.6 – MBV médio diário expresso em g/m².%HR

Amostras		MBV médio (g/m ² .%HR)														
		Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C	0,26	0,30	0,28	0,31	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	0,34	0,32	0,29	0,35	0,31	0,34
Cortiça com verniz (CV)	CV	0,36	0,40	0,30	0,33	0,33	0,31	0,30	0,31	0,31	0,30	0,32	0,31	0,34	0,33	0,31
Cortiça com pintura c/ tinta plástica (CT)	CT	0,34	0,37	0,35	0,39	0,35	0,35	0,39	0,38	0,37	0,37	0,38	0,33	0,38	0,37	0,36
Cortiça com ETICS (CE)	CE	0,80	0,92	0,87	0,85	0,86	0,83	0,87	0,86	0,86	0,90	0,90	0,84	0,89	0,85	0,88
Cortiça com barramento de gesso (CG)	CG	0,43	0,46	0,45	0,48	0,46	0,47	0,46	0,42	0,47	0,48	0,48	0,44	0,47	0,47	0,46
Cortiça com pintura por caiação (CC)	CC	0,40	0,43	0,37	0,38	0,40	0,42	0,40	0,37	0,38	0,40	0,42	0,34	0,37	0,40	0,36
Reboco de terra íltica (RT)	RT	3,04	3,78	3,42	3,53	3,40	3,49	3,40	3,41	3,42	3,49	4,00	3,40	3,64	3,51	3,69
Reboco de terra com pintura de silicatos (RTS)	RTS	2,86	3,29	2,94	3,14	2,86	2,97	3,09	3,08	3,02	2,96	3,27	3,39	3,25	3,32	3,29
Reboco de terra com 5% de gesso (RTG)	RTG	2,76	2,51	2,69	3,06	2,81	2,65	14,09	3,16	3,87	2,13	3,50	2,04	3,27	5,78	3,28
Placas de gesso cartonado c/ pintura c/ tinta plástica (PGT)	PGT	1,69	1,75	1,82	1,81	1,80	1,83	1,86	1,84	1,83	1,84	1,99	1,92	1,90	1,90	1,83
Reboco de cimento (RC)	RC	1,35	1,30	1,21	1,17	1,06	1,15	1,06	1,08	1,05	1,32	1,13	1,04	1,05	1,07	1,00

Quadro A.6 – MBV médio diário expresso em g/m²

Amostras		MBV médio (g/m ²)														
		Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15
Cortiça (aglomerado sem acabamento) (C)	C	7,90	9,00	8,30	9,30	9,50	9,20	9,70	9,30	9,50	10,20	9,60	8,60	10,50	9,30	10,10
Cortiça com verniz (CV)	CV	10,80	12,10	9,10	9,90	10,00	9,20	9,10	9,40	9,40	9,00	9,50	9,30	10,20	10,00	9,40
Cortiça com pintura c/ tinta plástica (CT)	CT	10,30	11,00	10,60	11,60	10,50	10,50	11,80	11,30	11,00	11,00	11,30	9,90	11,30	11,00	10,90
Cortiça com ETICS (CE)	CE	23,90	27,70	26,10	25,40	25,70	25,00	26,00	25,90	25,90	27,00	26,90	25,30	26,80	25,60	26,50
Cortiça com barramento de gesso (CG)	CG	12,90	13,90	13,40	14,50	13,70	14,20	13,70	12,50	14,00	14,40	14,30	13,20	14,00	14,00	13,80
Cortiça com pintura por caiação (CC)	CC	12,00	12,80	11,20	11,50	11,90	12,70	12,10	11,00	11,50	12,10	12,70	10,30	11,10	12,00	10,70
Reboco de terra ilítica (RT)	RT	91,13	113,48	102,50	105,89	102,05	104,82	101,88	102,23	102,71	104,73	119,91	101,98	109,20	105,18	110,80
Reboco de terra com pintura de silicatos (RTS)	RTS	85,71	98,61	88,14	94,20	85,71	89,00	92,81	92,29	90,56	88,66	98,18	101,82	97,49	99,57	98,61
Reboco de terra com 5% de gesso (RTG)	RTG	82,66	75,32	80,81	91,95	84,42	79,48	422,70	94,77	116,04	63,94	105,09	61,20	98,12	173,32	98,26
Placas de gesso cartonado c/ pintura c/ tinta plástica (PGT)	PGT	50,60	52,50	54,70	54,30	53,90	54,90	55,70	55,20	54,80	55,10	59,60	57,50	57,10	57,10	55,00
Reboco de cimento (RC)	RC	40,50	39,00	36,30	35,00	31,90	34,60	31,80	32,30	31,60	39,70	34,00	31,30	31,40	32,00	30,10

