



**Ana Lúcia Temudo
Mourato**

**Avaliação de materiais de construção como
soluções de saneamento de paredes e pavimentos**



**Ana Lúcia Temudo
Mourato**

**Avaliação de materiais de construção como
soluções de saneamento de paredes e pavimentos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Manuel Silva, Professor auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e co-orientação do Engenheiro Luís Miguel Cardoso da Silva, Diretor de Marketing da empresa Saint-Gobain Weber Portugal.

À minha mãe

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Inês Purcell de Portugal Branco
professora auxiliar do Departamento de Química

Prof. Doutor Francisco Avelino da Silva Freitas
professor auxiliar do Departamento de Química

Eng.º Luís Miguel Cardoso da Silva
Diretor de Marketing da empresa Saint-Gobain Weber Portugal

agradecimentos

Ao Professor Carlos Silva pela orientação e conhecimentos transmitidos.

Ao meu co-orientador Luís Silva por toda a disponibilidade, ajuda constante e ensinamentos prestados.

À empresa Saint-Gobain Weber por me ter acolhido e por ter garantido todas as condições para a realização desta dissertação.

A todas as pessoas do laboratório da empresa Saint-Gobain Weber, pela ajuda e boa disposição, especialmente à Ana Lourenço, por toda a ajuda que me deu sempre que necessitei, tanto na realização de procedimentos experimentais, como pela disponibilidade em responder às minhas perguntas e dúvidas, pela amizade e companheirismo.

Aos meus amigos e familiares, que estando mais longe ou mais perto, sempre me apoiaram, incentivaram e motivaram, quer nesta fase, quer durante todo o curso.

Ao Diogo por todo o apoio, carinho, compreensão e paciência que sempre teve comigo.

Aos meus pais e irmão, pois sem eles nada disto seria possível. Um grande obrigado especialmente à minha mãe, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha vida e por me fazer sempre ter os pés bem assentes na terra.

palavras-chave

Elementos construtivos, sais solúveis, hidrófugo, reboco de saneamento, argila expandida, capilaridade

resumo

No contexto de elementos construtivos, como paredes e pavimentos de edifícios, um dos grandes problemas é o transporte de humidade e a deposição de sais solúveis, pelo que é necessário propor-se soluções que evitem e/ou corrijam estes obstáculos, preservando os materiais construtivos, assim como o conforto e bem-estar dos seres humanos.

Nesta dissertação é proposta uma solução que implica utilizar argila expandida em pavimentos e rebocos de saneamento em paredes. Esta solução carecia de avaliação experimental ao nível de eficiência de corte capilar como estratégia principal para controlar o transporte e deposição de sais nos elementos seleccionados.

O contributo deste trabalho prende-se com a avaliação de argila expandida (Leca) e respetiva avaliação após tratamento hidrófugo e também de duas argamassas de saneamento (APT e APC). A avaliação consiste no estudo do movimento de água por capilaridade e fase de vapor ao longo das camadas testadas, medindo-se curvas de humidificação e secagem dos vários materiais. Dos dados experimentais obtiveram-se os coeficientes de capilaridade e os fluxos de água para tempos característicos. Regra geral, mostrou-se que a aplicação de uma camada de Leca hidrofugada combinada com Leca não hidrofugada reduz com sucesso o fluxo de água absorvida. A posição da camada hidrofugada na estrutura construtiva (piso térreo) é também fundamental, tendo-se mostrado que deve ser a que contacta diretamente com a fonte de água (face inferior de um pavimento). Relativamente ao transporte de sais, estudou-se a ação de sais de cloretos e sulfatos sobre as argamassas APC e APT, tendo-se observado que, após 47 ciclos de cloretos e 55 de sulfatos, os provetes de APC não sofreram alterações visíveis ao invés dos de APT, cujas arestas e vértices ficaram arredondados e desgastados. A Leca, muito embora tenha potencial para reter água, não se mostrou capaz de reter sais de ambos os aniões, tendo-se, por este motivo, parado este ensaio após 24 ciclos de sais de sulfatos e 20 de sais de cloretos.

Face aos resultados obtidos, é possível admitir que um leito de pavimento com Leca, associado a uma parede com reboco de saneamento (APT e APC), apresenta um transporte de água adequado, sendo a Leca, especialmente se for hidrofugada, um tampão ao excesso de água na zona de paredes que causam a sua potencial degradação, especialmente quando existem sais.

keywords

Constructive elements, soluble salts, water-repellent, salt-accumulating render, expanded clay, capillarity

abstract

In the context of constructive elements, as walls and pavements from buildings, one of the biggest problems is the transport of humidity and the deposition of soluble salts, whereby it is necessary to propose solutions that avoid and/or correct these obstacles, preserving the constructive materials, as well as the comfort and well-being of humans.

In this dissertation it is proposed a solution involving the utilization of expanded clay in pavements and salt-accumulation renders in walls. This solution lacked of experimental evaluation at the level of the efficiency of capillary cut as first strategy to control the transport and deposition of salts in the selected elements. The contribution of this work concerns the evaluation of the expanded clay (Leca) and respective evaluation after treatment with water-repellent and also of two renders (APT e APC). The evaluation consists in the study of the water movement by capillarity and vapor phase through the tested layers, measuring curves of humidification and drying of the various materials. From the experimental data were obtained the capillarity coefficients and the water flows for characteristic times. General rule, were shown that the application of a waterproofed layer of Leca combined with one not waterproofed decreases with success the absorbed water flow. The position of the waterproofed layer in the constructive structure (ground floor) is also fundamental, having been shown that must be the one that contacts directly with the water source (the underside of a pavement).

Relatively to the salt transport, it has been studied the action of chlorides and sulfates salts over the renders APC and APT, having been observed that, after 47 cycles of chlorides and 55 of sulfates, the samples of APC didn't suffer visible changes, instead of the ones of APT, whose edges and vertices stayed round and worned.

Leca, although the great potential to hold water, wasn't able to hold salts from both anions, so, for this reason, this test have been stopped for this material after 24 cycles of sulfate salts and 20 of chloride salts.

According to the obtained results, it is possible to admit that a deck bed with Leca, associated to a wall with salt-accumulating renders (APT e APC), presents an adequate transport of water, being Leca, especially if it is waterproofed, a tampon to excess of water that causes the potential degradation in the zone of walls, especially when there are salts.

Índice

Índice.....	i
Índice de figuras.....	iii
Índice de tabelas.....	v
Notação.....	vi
1-Introdução.....	1
1.1-Importância e justificação do tema.....	1
1.3-Objectivos e organização da tese.....	2
2-Revisão bibliográfica.....	3
2.1- Porosidade de materiais.....	3
2.1.1 Argila expandida-Light Weight Expanded Clay Aggregate (LECA).....	4
2.1.1.1-Processo de produção da Leca.....	5
2.1.1.2-Principais vantagens da Leca.....	7
2.1.2- Rebocos de saneamento.....	7
2.1.2.1-Rebocos em edifícios antigos.....	7
2.1.2.3-Requisitos gerais dos rebocos de saneamento.....	8
2.2- Transporte de água em materiais porosos.....	8
2.2.1-Transporte de água por capilaridade.....	9
2.2.2- Difusão de vapor de água.....	10
2.2.3-Secagem.....	13
2.3-Humidade ascensional.....	14
2.3.1- Humidade ascensional e sais em edifícios antigos.....	15
2.3.2-Soluções típicas de correção de camadas de sais em paredes.....	17
2.3.2.1- Rebocos de saneamento.....	17
2.3.2.2-Hidrófugos de superfície.....	19
2.3.2.2.1- Características gerais dos hidrófugos de superfície.....	19
2.3.2.2.2-Requisitos dos hidrófugos.....	20
3-Metodologia experimental.....	21
3.1-Apresentação e caracterização dos materiais utilizados.....	21
3.1.1-Leca.....	21
3.1.2-Argamassas APC e APT.....	22
3.1.3-Hidrófugo Silano/Siloxano (HSS).....	23

3.2-Preparação dos materiais.....	24
3.2.1-Preparação de provetes	24
3.2.2-Preparação de Leca	25
3.2.2-Preparação de Leca hidrofugada	26
3.2.3-Preparação de Leca intervalar	27
3.3-Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	27
3.3.1-Leca e Leca hidrofugada	27
3.3.1.1-Altura atingida pela água	29
3.3.2-Provetes de APC e APT	30
3.4-Secagem.....	30
3.4.1-Leca.....	30
3.4.2- Provetes APC e APT.....	31
3.5-Resistência à penetração de sais	31
3.5.1-Sais de cloretos	31
3.5.2- Sais de sulfatos.....	32
4-Análise e discussão dos resultados	35
4.1-Absorção de água por capilaridade	35
4.1.1- Leca.....	35
4.1.2- Leca hidrofugada	36
4.1.3- Leca intervalar	38
4.1.3.1-Altura atingida pela água na Leca por absorção capilar	39
4.1.2-Argamassa Porosa Térmica (APT)	40
4.1.3-Argamassa Porosa de Cal (APC)	42
4.2-Secagem.....	43
4.2.1-Leca não hidrofugada.....	43
4.2.2-Argamassa Porosa Térmica (APT)	46
4.2.3- Argamassa Porosa de Cal (APC)	47
4.3-Ensaio de resistência aos sais.....	49
4.3.1-Sais de cloretos	49
4.3.2-Sais de sulfatos.....	51
5-Conclusões e desenvolvimentos futuros	53
6-Bibliografia.....	55
Anexos.....	57

Índice de figuras

Figura 1- Tipos de porosidade dos materiais (adaptado de Freitas et al., 2008)	3
Figura 2-Partículas de argila expandida	4
Figura 3-Triângulo de Riley (Riley, 1951).....	5
Figura 4- Diversas etapas da produção de Leca (Saint-Gobain Weber)	5
Figura 5-Forno rotativo (Saint-Gobain Weber).....	6
Figura 6-Curva típica de absorção de água por capilaridade num material poroso (Adaptado de Dullien, 1979)	10
Figura 7-Ensaio da permeabilidade ao vapor pelo método da tina seca 7.a) e pelo método da tina húmida 7.b) (Rodrigues, 1991)	11
Figura 8- Diferentes fases do processo de secagem em materiais porosos (Esteves, 2014)	13
Figura 9-Curva típica de secagem dos materiais porosos (adaptado de Esteves, 2014)	13
Figura 10-Principais quatro princípios de funcionamento dos rebocos (Gonçalves e Rodrigues, 2010)	18
Figura 11-APT em pó.....	23
Figura 12- APC em pó	23
Figura 13-Aspetto do hidrófugo HSS.....	23
Figura 14-Amassadora	24
Figura 15-Molde de provetes	24
Figura 16- Provete de APT.....	25
Figura 17-Provete de APC	25
Figura 18-Volume de Leca.....	25
Figura 19- Saco de plástico com Leca e HSS	26
Figura 20-Leca hidrofugada	26
Figura 21- Recipiente alto com esfregão verde.....	28
Figura 22-Volume de Leca dentro do recipiente com água destilada	28
Figura 23-Pesagem do volume com Leca	28
Figura 24-Diferentes frações de volume com Leca, consideradas na avaliação de altura máxima de ascensão capilar.....	29
Figura 25-Amostras de Leca de cada fração nos vidros de relógio.....	29
Figura 26-Leca no recipiente em fase de secagem.....	30
Figura 27-Volume de Leca a imergir para o ensaio de resistência aos sais	32
Figura 28-Provetes de APC em ambiente de humidade relativa 90%.....	32
Figura 29-Provetes de APT em ambiente de humidade relativa 90%	32
Figura 30-Provetes de APC submetidos ao ensaio de sais de sulfatos.....	33
Figura 31-Provetes de APT submetidos ao ensaio de sais de sulfatos	33
Figura 32-Provetes imersos na solução de 0,1M.....	33
Figura 33-Provetes imersos na solução de 0,01M.....	33
Figura 34- Curva de absorção capilar da Leca não hidrofugada. (A curva é uma linha de tendência)	35

Figura 35-Curvas de absorção capilar da Leca hidrofugada e não hidrofugada. (As curvas são linhas de tendência).....	36
Figura 36-Curva de absorção capilar para a Leca hidrofugada. (As curvas são linhas de tendência).....	38
Figura 37-Curvas de absorção de água por capilaridade para a Leca intervalar. (As curvas são linhas de tendência).....	38
Figura 38-Percentagem de água absorvida em cada intervalo das frações recolhidas	40
Figura 39-Comportamento capilar de APT com tempo de cura de 3, 7,14 e 28 dias. (As curvas são linhas de tendência).....	41
Figura 40- Comportamento capilar do APC com tempo de cura de 3, 7,14 e 28 dias. (As curvas são linhas de tendência).....	42
Figura 41- Evolução da secagem da Leca não hidrofugada. (A curva é uma linha de tendência e a reta inicial foi ajustada até ao ponto de inflexão).....	44
Figura 42- Evolução da secagem da leca hidrofugada. (As curvas são linhas de tendência).....	45
Figura 43-Comparação da evolução da Leca não hidrofugada com a Leca hidrofugada.....	46
Figura 44- Curva de secagem para o APT. (As curvas são linhas de tendência).....	47
Figura 45-Curva de secagem para o APC. (As curvas são linhas de tendência).....	48
Figura 46- Resultados dos ciclos de cloretos para a Leca até 20 ciclos e para as argamassas até 47 ciclos	50
Figura 47- Provetes de APT (a) e APC (b) após serem submetidos a 47 ciclos aos sais de cloretos	50
Figura 48- Resultados dos ciclos de cloretos para a Leca até 24 ciclos e para as argamassas até 55 ciclos	51
Figura 49- Provetes de APT (a) e APC (b) após serem submetidos a 55 ciclos aos sais de sulfato	52

Índice de tabelas

Tabela 1- Características físicas e químicas da Leca (Saint-Gobain Weber).....	21
Tabela 2- Características das argamassas APC e APT utilizadas (Saint-Gobain Weber).....	22
Tabela 3- Principais características do HSS (Wacker Group)	23
Tabela 4- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para a Leca hidrofugada	37
Tabela 5- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para a Leca intervalar	39
Tabela 6- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para APT.....	41
Tabela 7- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para o APC	42
Tabela 8- Resultados obtidos na secagem da Leca	45
Tabela 9- Resultados obtidos na secagem dos provetes de APT.....	47
Tabela 10- Resultados obtidos na secagem dos provetes de APC	49
Tabela 11- Percentagem de cloretos retida inicialmente	49
Tabela 12- Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a argamassa APT ...	57
Tabela 13- Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a argamassa APC. 58	
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a Leca	59
Tabela 15- Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a Leca (continuação)	60
Tabela 16- Resultados da percentagem de água absorvida pela Leca Intervalar A em cada fração	61
Tabela 17- Resultados da percentagem de água absorvida pela Leca Intervalar B-5 em cada fração	61
Tabela 18- Resultados da secagem da Leca hidrofugada e não hidrofugada	62
Tabela 19- Resultados da secagem das argamassas APT e APC	62

Notação

Π : Permeabilidade ao vapor ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$)

7 dias-20%H a 70°C : Leca hidrofugada com 20% de hidrófugo, iniciando-se o ensaio de absorção de água por capilaridade após 7 dias a 70°C na estufa

APC: Argamassa Porosa de Cal

APT: Argamassa Porosa Térmica

$C_{delective}$: Coeficiente de capilaridade ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1/2}$)

HSS: Hidrófugo Silano/Siloxano

Intervalar A: Volume de Leca com 5cm de Leca não hidrofugada, 6 cm de Leca hidrofugada 3 dias e o restante volume Leca normal

Intervalar B-3: Volume de Leca com 3 cm de Leca hidrofugada 3 dias e a restante altura de Leca não hidrofugada

Intervalar B-5: Volume de Leca com 5 cm de Leca hidrofugada 3 dias e a restante altura de Leca não hidrofugada

Leca: Leca ® Light Plus

N/Hidrofugada: Leca não hidrofugada

xh-y%H: Leca hidrofugada com y% de hidrófugo, iniciando-se o ensaio de absorção de água por capilaridade após xh

$W_{absorvida}$: Fluxo de água absorvida às 24h

W:Fluxo de água absorvida

Wi- percentagem mássica de água evaporada num material

1-Introdução

1.1-Importância e justificação do tema

Os edifícios estão sujeitos a humidade e degradação por cristalização de sais os quais se manifestam, principalmente, devido à água e sais solúveis provenientes do terreno onde a construção é feita, ascendendo por capilaridade e/ou difusão uma vez que os materiais de construção são porosos, especialmente no caso de edifícios antigos.

Em Portugal, há uma grande necessidade de reabilitação de edifícios, especialmente de paredes, uma vez que existem cerca de 900.000 construções concluídas até 1960 (Censos 2011, s.d.). No conceito da reabilitação das paredes antigas, com frequência não são respeitadas as características do suporte, pelo que ocorrem diversas formas de degradação, como fissuração, descolamentos e aparecimento de sais solúveis (Guia Weber, 2016).

Em relação ao aparecimento de sais solúveis existem diversas soluções para prevenir ou controlar esta anomalia, tais como rebocos de saneamento e a aplicação de um produto hidrófugo, revestimento “emboço ventilado”, remoção eletroquímica de sais, modificação de cristalização e controlo de humidade ascensional, mas não têm sido suficientemente eficazes nesta prevenção, apresentando resultados aquém do desejado, principalmente quando os sais são originados na zona do pavimento térreo. Adicionalmente, admite-se que cortes de ascensão capilar em pavimentos possam conduzir os sais para as paredes, agravando as anomalias nestes elementos (Guia Weber, 2016; Costa, 2013; Puim, et al., 2012).

As soluções atuais, que implicam injeções de um agente hidrófugo, exigem técnica e perícia e implicam custos elevados. Assim, este trabalho tem também em consideração o fator custo, pelo que estuda uma alternativa nos pavimentos que implica a utilização de materiais correntes, tais como a argila expandida, na correção deste problema.

1.3-Objectivos e organização da tese

Neste trabalho pretende-se estudar simultaneamente o corte capilar de humidade ascensional e de sais, através da aplicação de argila expandida e posterior tratamento com hidrófugo em pavimentos e revestimento de paredes com rebocos de saneamento.

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, designadamente Introdução, Revisão bibliográfica, Metodologia experimental, Análise e discussão dos resultados, Conclusão e Anexos.

No primeiro capítulo é apresentado o tema da dissertação, a sua importância e relevância do tema e a organização da referida dissertação.

No segundo capítulo é apresentado um resumo de toda a informação teórica baseado na pesquisa bibliográfica realizada, onde se procurou caracterizar os materiais porosos, os mecanismos principais de transporte de água por ascensão capilar, o transporte de sais em paredes e a apresentação das soluções mais utilizadas para a resolução do problema em estudo.

No terceiro capítulo, é apresentado o procedimento experimental adotado para os diversos ensaios realizados, assim como a apresentação e caracterização dos materiais utilizados.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados experimentais e calculados, assim como a sua discussão.

No capítulo cinco estão sumariadas as conclusões do presente trabalho, assim como algumas sugestões de melhoramento futuras.

Por fim é apresentada a bibliografia no capítulo 6 seguindo-se os anexos.

2-Revisão bibliográfica

2.1- Porosidade de materiais

A porosidade em materiais pode ser classificada em porosidade aberta (figura 1-a) e porosidade fechada (figura 1-b). (Oliveira, 2013)

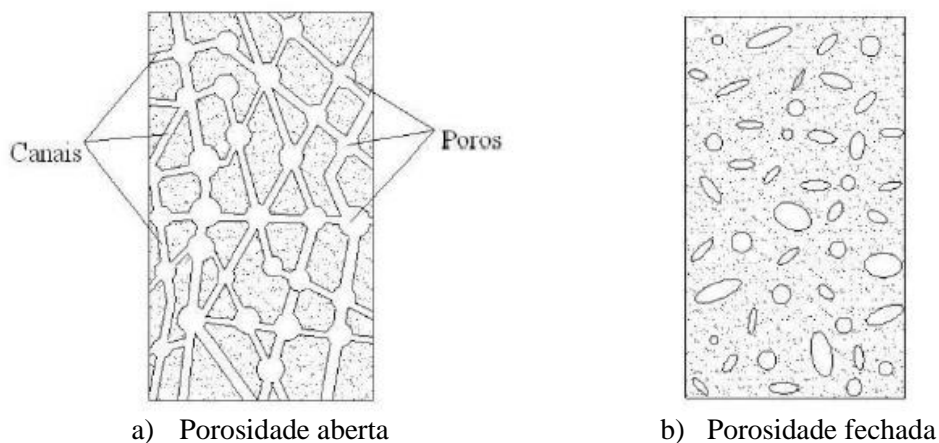


Figura 1- Tipos de porosidade dos materiais (adaptado de Freitas et al., 2008)

Na porosidade aberta, os poros formam canais e comunicam entre si através de capilares que favorecem a circulação de água.

Na porosidade fechada, os poros do material não comunicam entre si, o que impede a circulação de água, sendo considerados impermeáveis.

Os poros podem ser classificados em três tipos (Gonçalves, 2007):

- Microporos: Raio $< 0,1 \mu\text{m}$, são muito pequenos e não permitem o movimento de água por capilaridade;
- Mesoporos: $0,1 < \text{Raio} < 30 \mu\text{m}$, permitem a movimentação de água líquida através de forças capilares;
- Macroporos: Raio $> 30 \mu\text{m}$, permitem muito pouca movimentação de água líquida por forças capilares, sendo responsáveis por movimentação de vapor de água.

2.1.1 Argila expandida-Light Weight Expanded Clay Aggregate (LECA)

A argila expandida é um material leve e granular que, quando sujeito a temperaturas até 1150°C, expande. É produzido a partir de argila especial, do tipo bloating clay (Patriarca, 2012; Saint-Gobain Weber, s.d.). Estão representadas na figura 2 partículas de argila expandida.



Figura 2-Partículas de argila expandida

Não sendo toda a argila adequada para o fabrico de argila expandida, é possível, através da interpretação dos estudos de Riley, analisar a sua adequação. Segundo este, há duas condições que têm que ser cumpridas para que ocorra a expansão da argila (Riley, 1951):

1. O material deve produzir uma alta temperatura de transição vítrea com uma viscosidade alta o suficiente para aprisionar o gás. Na figura 3, é representada a “área de expansão” delimitada por uma linha a tracejado, que mostra a composição desejável das argilas que satisfazem esta condição. Segundo esta figura, os materiais que devem estar presentes são dióxido de silício (SiO_2) numa percentagem entre 52 e 80%, óxido de alumínio (Al_2O_3) numa percentagem entre 11 e 25% e uma combinação de outros óxidos (CaO , MgO , FeO , Fe_2O_3 , $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O}$) numa percentagem entre 10 e 25%;
2. Deve estar presente um material que liberte um gás à temperatura a que a fase vítrea foi formada. Segundo Riley, estes podem ser hematite, pirite e dolomite, uma vez que são os únicos que conseguem dissociar e produzir um gás à temperatura necessária.

Na figura 3 está representado o triângulo de Riley, onde estão, dentro da zona delineada a tracejado, as composições dos materiais que garantem a expansão da argila.

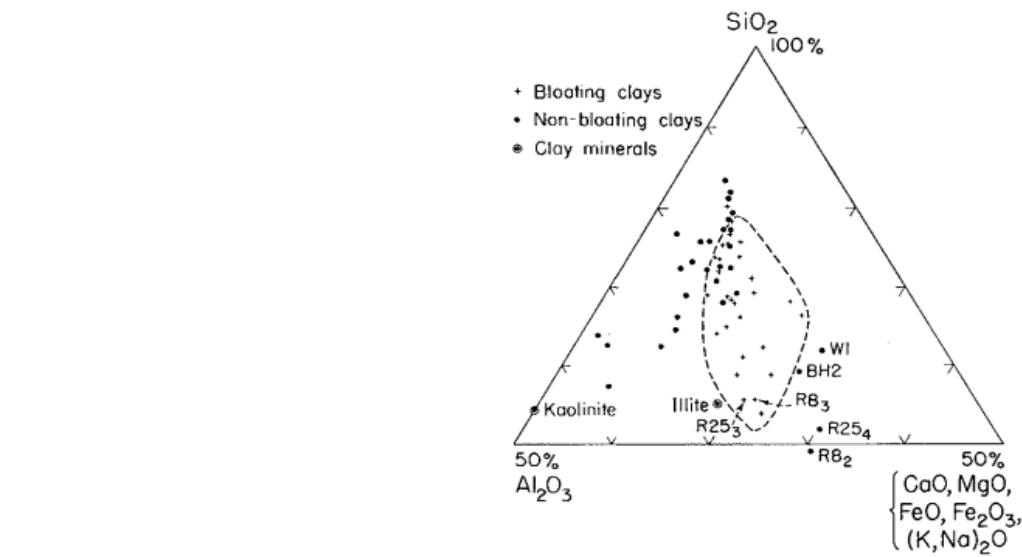


Figura 3-Triângulo de Riley (Riley, 1951)

2.1.1.1-Processo de produção da Leca

Na figura 4 está ilustrado o processo de produção da Leca (argila expandida).

Primeiramente, há a extração da matéria-prima (figura 4 número 1), através de equipamentos e procedimentos como bulldozer, scaper, etc. Após esta extração, a matéria-prima é levada para um armazém a céu aberto, onde fica em repouso durante algum tempo, passando-se seguidamente ao seu tratamento térmico, onde são formados os grânulos antes da argila entrar no forno, o que permite uma granulometria fixa do produto final (Patriarca, 2012; Silva, 2007).

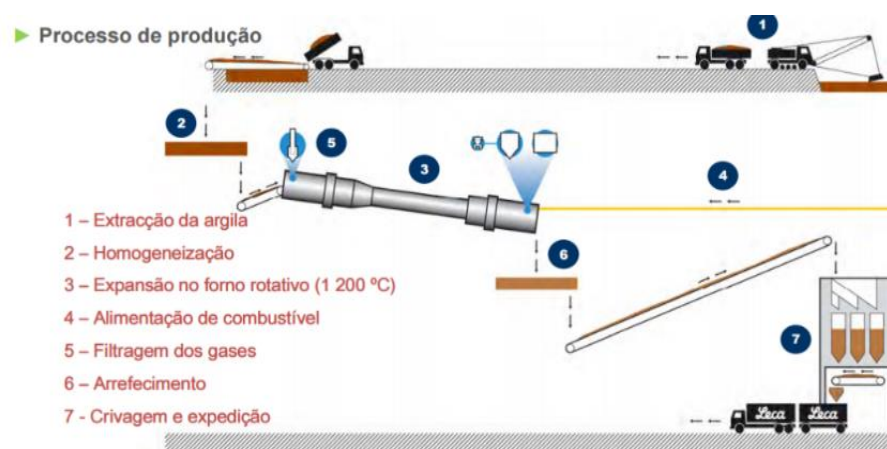


Figura 4- Diversas etapas da produção de Leca (Saint-Gobain Weber)

2-Revisão Bibliográfica

Em Portugal, esta transformação é feita por via húmida e consiste na preparação de uma pasta plástica homogénea (número 2 na figura 4), através da introdução de água (entre 20 e 25% de teor de água) e onde podem ser incorporados os aditivos necessários à expansão da argila. A pasta obtida segue para os laminadores onde ocorre esmagamento dos grânulos, resultando partículas de cerca de 1 mm de espessura. Esta pasta final é encaminhada para uma misturadora onde lhe são adicionados água e óleos, conduzindo esta pasta ao forno rotativo (figura 4, número 3), o mais utilizado na cozedura.

O forno rotativo é um tubo de eixo relativamente inclinado em relação à horizontal (ver figura 5) e tem um comprimento aproximado entre 70 e 100 m.

No forno rotativo, ocorrem diversas fases (Silva, 2007):

- Secagem até perto de 600 °C;
- Pré-aquecimento entre 900 e 950 °C;
- Expansão a 1200 °C;

Após a pasta estar no forno rotativo, procede-se à sua secagem gradual a cerca de 600°C, seguindo para o forno de expansão, onde a temperatura se eleva a 1200°C e tem um diâmetro superior ao forno de secagem, ocorrendo a fusão de alguns dos materiais que constituem a argila enquanto outros dos seus componentes se decompõem formando gases que provocam o aumento de volume da argila (figura 4, número 5) e formando-se os grãos de argila expandida de forma aproximadamente esférica (Silva, 2007).

Seguidamente dá-se o arrefecimento (figura 4, número 6) das partículas e sua crivagem (figura 4, número 7), para serem separadas em frações granulométricas. Posteriormente as partículas são armazenadas num local com pouca humidade (Almeida, 2009).



Figura 5-Forno rotativo (Saint-Gobain Weber)

2.1.1.2-Principais vantagens da Leca

As principais vantagens da Leca são (Guia Weber, 2016):

- Leveza comparativamente à grande maioria dos materiais de construção;
- Resistência ao fogo;
- Elevada resistência ao esmagamento;
- Capacidade de isolamento acústico;
- Capacidade de isolamento térmico.

Curiosamente, este material tem carecido de avaliação ao nível do seu desempenho quanto à ascensão de água por capilaridade, pelo que é considerado um caminho de investigação a adotar no presente trabalho.

2.1.2- Rebocos de saneamento

Os rebocos de saneamento têm a função de, para além de conferirem a estética de paredes de um edifício, protegê-lo contra diversos tipos de degradação, tais como a ação da água, as condições climáticas, da poluição e dos sais contidos no solo, chuva e materiais. Têm também a função de regularização e impermeabilização de superfícies e contribuem diretamente para a durabilidade das construções onde são aplicados (Penas, 2008; Pavão, 2010). Estes rebocos, como constituem a camada superficial da parede, têm um papel sacrificial de proteção da alvenaria em relação aos elementos destrutivos que a possam atingir, sobrepondo-se por vezes esta função de proteção à sua própria preservação (Gonçalves e Rodrigues, 2010).

2.1.2.1-Rebocos em edifícios antigos

As paredes antigas permitem a entrada de humidade, pois são constituídas em grande parte por materiais porosos, mas, embora a água penetre com facilidade no suporte também sai com

2-Revisão Bibliográfica

relativa facilidade, uma vez que o valor da permeabilidade ao vapor de água é elevado. Este equilíbrio pode ser afetado, por exemplo, pela presença de sais no seu interior.

Para se reabilitar um edifício antigo, é necessário recorrer a materiais compatíveis com o seu suporte, sendo desejável manter o modelo de funcionamento do revestimento e, se possível, manter os revestimentos devido ao seu valor histórico (Magalhães, 2002; Penas, 2008).

O revestimento das paredes de um edifício antigo normalmente está dividido em três camadas: salpico, camada de base e camada acabamento (Penas, 2008). Normalmente, são constituídos por ligante, agregados, adjuvantes e água de amassadura. (Rodrigues, 2004).

2.1.2.3-Requisitos gerais dos rebocos de saneamento

De modo a que seja possível garantir que os rebocos de saneamento cumpram as suas funções, são definidos diversos requisitos que devem ser cumpridos, quer para edifícios antigos quer para edifícios recentes. Os principais requisitos para que isto se observe são (Veiga, 2005):

- Resistência à fendilhação;
- Aspeto estético;
- Durabilidade face às agressões externas;
- Aderência ao suporte;
- Capacidade de promover a expulsão de vapor de água formado no interior da parede e a água através de evaporação;
- Capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada.

2.2- Transporte de água em materiais porosos

O transporte de água, não forçado, em meios porosos acontece principalmente por dois fenómenos e depende da porosidade dos materiais. Estes fenómenos são (Oliveira, 2013):

- Absorção de água líquida por capilaridade;
- Secagem/evaporação e difusão do vapor de água.

2.2.1-Transporte de água por capilaridade

Designa-se por capilaridade o fenómeno de ascensão de um líquido através dos capilares de um sólido. Num capilar, um líquido consegue ascender devido à diferença de pressão líquido-gás, denominada de pressão de capilaridade e pode ser traduzida pela por:

$$P_{cp} = -\frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{r} \quad (1)$$

em que P_{cp} é a pressão de capilaridade (Pa), σ a tensão superficial no líquido (N/m), θ o ângulo de contacto ($^\circ$) e r o raio do capilar (m) (Freitas, 1992).

O ângulo de contacto é o angulo formado entre a superfície do sólido e a tangente à superfície do líquido no ponto de contacto entre o líquido e o sólido. Se este ângulo for inferior a 90° forma-se um menisco côncavo e o material que apresenta esta característica denomina-se hidrófilo, o que irá permitir ascensão de água por capilaridade, devido à pressão no menisco ser inferior à pressão na superfície do líquido. Pelo contrário, se este ângulo for superior a 90° forma-se um menisco convexo o material designa-se hidrófugo, não permitindo a ascensão de água por capilaridade (Beben e Manko, 2011).

Em construção, a maioria dos materiais apresenta porosidade aberta (Oliveira, 2013), nomeadamente argamassas de saneamento e argila expandida, os quais são analisados neste trabalho, têm uma complexa rede capilar, o que impossibilita a utilização da equação 1 já que esta só se aplica para um capilar. Por esta razão, foi desenvolvida outra equação que possibilita a determinação do coeficiente de capilaridade, que representa, portanto, a capacidade de absorção de água líquida de um material e que depende da porosidade do mesmo (Gonçalves, 2007). A equação é descrita por:

$$C_{declive} = \frac{M(t)}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

em que $C_{declive}$ é o coeficiente de capilaridade ($g \cdot dm^{-2} \cdot min^{-1/2}$), $M(t)$ a quantidade de água absorvida por unidade de área ($g \cdot dm^{-2}$) e t o tempo (min) (EN 1015-18:2002).

Este coeficiente, experimentalmente, é obtido pondo uma face de um material poroso, normalmente um provete prismático, em contacto com água de modo a este absorva na sua base por capilaridade e fazendo pesagens regulares ao longo do tempo, de modo a permitir o transporte de água unidirecional que é medida ao longo do tempo (Couto, 2010). Com as medições feitas é possível obter um gráfico (equivalente ao representado na figura 6) que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de área em função da raiz quadrada do tempo.

2-Revisão Bibliográfica

Obtendo-se esta curva e traçando uma reta tangente no início, o seu declive desta reta será o coeficiente de capilaridade (Dullien, 1979). $t^{1/2}(\text{min}^{1/2})$

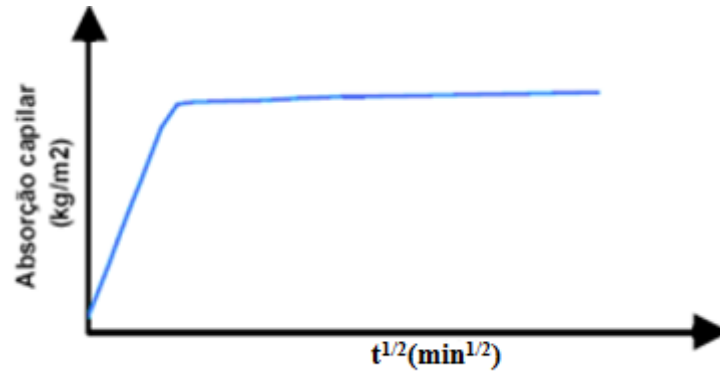


Figura 6-Curva típica de absorção de água por capilaridade num material poroso (Adaptado de Dullien, 1979)

Observando a figura 6, a primeira fase, que é traduzida por um declive acentuado corresponde ao preenchimento da maioria dos poros e na segunda fase ocorre o preenchimento dos restantes poros por difusão, o que se traduz por um declive baixo (Dullien, 1979).

2.2.2- Difusão de vapor de água

O transporte de vapor de água em materiais porosos pode ser descrito como um processo de difusão, que é causado por um gradiente de concentração de vapor de água, ou seja, o vapor de água move-se de uma zona de maior pressão parcial para outra mais baixa. O fluxo de difusão é diretamente proporcional ao gradiente de concentração de vapor de água e é descrito pela primeira lei de Fick (Esteves, 2014):

$$\vec{J}_A = -D_{AB} \cdot \nabla C_A \quad (3)$$

em que \vec{J}_A é o fluxo de vapor ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), D_{AB} é o coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) e C_A a concentração de vapor de água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). O sinal negativo traduz o facto de o movimento ocorrer de uma zona de maior concentração para uma de menor concentração de vapor.

Assumindo que o ar se comporta como um gás ideal:

$$P_A = \frac{c_A \cdot R \cdot T}{M_w} \quad (4)$$

em que P_A é a pressão parcial de vapor de água (Pa), R a constante dos gases ideais ($8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$), T a temperatura (K) e M_w a massa molar da água ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$).

A permeabilidade ao vapor, Π ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), é dada para cada material e traduz-se como a quantidade de vapor que atravessa uma espessura unitária de material (m), por unidade de tempo (s), de superfície (m^2) e de força diretriz (Pa):

$$\Pi = \frac{M_w \cdot D_{AB}}{R \cdot T} \quad (5)$$

Para se caracterizarem os materiais em relação ao transporte de vapor, recorre-se ao método da tina, que induz um regime estacionário isotérmico de transporte unidirecional de vapor através do material e consiste em fixar um provete do material pretendido sobre uma tina contendo uma solução salina capaz de originar uma humidade relativa fixa a uma determinada temperatura de ensaio. Quando as condições de estado estacionário são atingidas, a perda de peso do provete é constante (Esteves, 2014; Oliveira, 2013; Couto, 2010).

Este método tem duas variantes, o método da tina seca (figura 7.a) e o método da tina húmida (figura 7.b). No primeiro, utiliza-se uma solução salina que crie uma humidade relativa inferior à existente no exterior desta, o que provoca um fluxo de humidade de fora para dentro da tina, levando ao ganho de massa. No segundo, utiliza-se uma solução salina que crie uma humidade relativa superior à existente no exterior desta, o que provoca um fluxo de humidade de dentro para fora da tina, levando à perda de massa (Rodrigues, 1991)

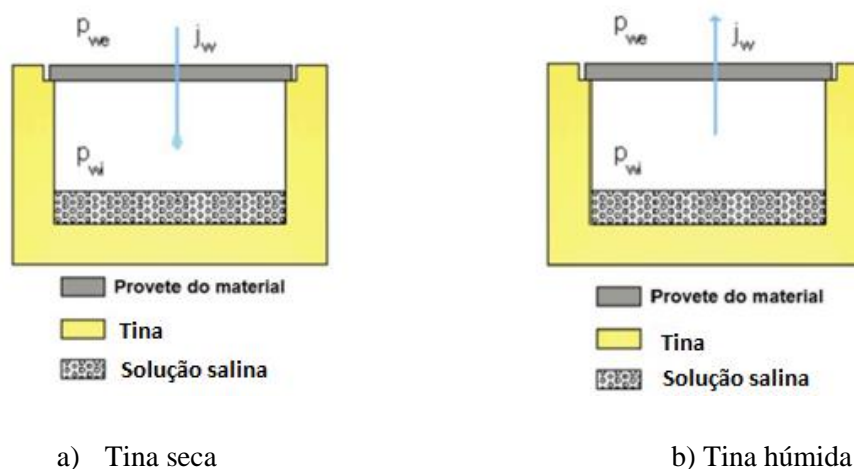


Figura 7-Ensaio da permeabilidade ao vapor pelo método da tina seca 7.a) e pelo método da tina húmida 7.b) (Rodrigues, 1991)

2-Revisão Bibliográfica

Como o fluxo de vapor é unidirecional, a aplicação da lei de Fick permite exprimir o fluxo de vapor que atravessa o provete por (Esteves, 2014):

$$j_w = \Pi \cdot \frac{P_{vi} - P_{ve}}{\varepsilon} \quad (6)$$

em que $P_{vi} - P_{ve}$ é a diferença de pressão de vapor entre o interior e o exterior da cápsula (Pa), ε a espessura do provete (m), j_w o fluxo de difusão ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e Π a permeabilidade.

O valor de Π pode ainda ser expresso de outra forma, quando o fluxo de difusão j_w é substituído pela razão entre o caudal de difusão G ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) e a secção S (m^2) que é atravessada pelo fluxo, sendo expressa pela equação 7 (Gonçalves, 2007):

$$\Pi = \frac{\varepsilon \cdot G}{\Delta P \cdot S \cdot 36 \cdot 10^5} \quad (7)$$

em que ΔP representa a diferença de pressão de vapor entre a face inferior e superior do provete (Pa) e pode ser calculado através da equação 8:

$$\Delta P = P_e - P_i = P^\sigma \cdot \frac{H_{re}}{100} - P^\sigma \cdot \frac{H_{ri}}{100} \quad (8)$$

em que P_e e P_i (Pa) é a pressão parcial existente no interior câmara climática (exterior da tina) e no interior da tina, respetivamente, H_{re} e H_{ri} (%) representam a humidade relativa no exterior e no interior da tina, respetivamente. P^σ representa a pressão de vapor a uma dada temperatura, T ($^\circ\text{C}$), e pode ser calculado através da equação 9 (Oliveira, 2013):

$$P^\sigma = 1000 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot T}{273,3 + T}} \quad (9)$$

É também possível calcular o fator de resistência à difusão do vapor de água, μ , uma grandeza adimensional que indica quão maior a permeabilidade ao vapor de um material é em relação à permeabilidade do ar numa espessura igual e nas mesmas condições ambientais.

$$\mu = \frac{\Pi_{ar}}{\Pi} \quad (10)$$

em que Π_{ar} corresponde ao coeficiente de vapor de água no ar à pressão atmosférica e temperatura ambiente e tem por valor fixo $1,95 \times 10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$.

2.2.3-Secagem

A secagem pode ser definida como o processo em que a água abandona um material poroso, compreendendo três fases principais, conforme ilustrado nas figuras 8 e 9.

A velocidade a que este fenómeno ocorre nos materiais depende, principalmente, das condições exteriores como a humidade relativa, a temperatura e da dimensão dos poros, que quanto mais pequenos forem, mais lenta será a secagem (Esteves, 2014). Na figura 9 é representado o comportamento típico de uma curva de secagem, onde a quantidade de água num material húmido é expressa em função do tempo, considerando que a evaporação é unidirecional.

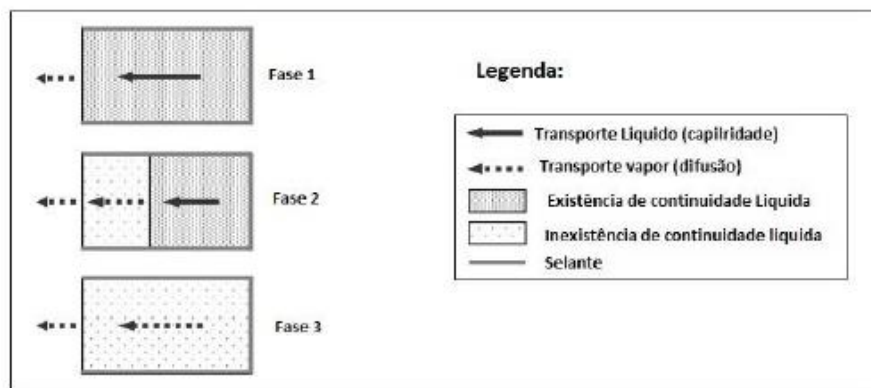


Figura 8- Diferentes fases do processo de secagem em materiais porosos (Esteves, 2014)

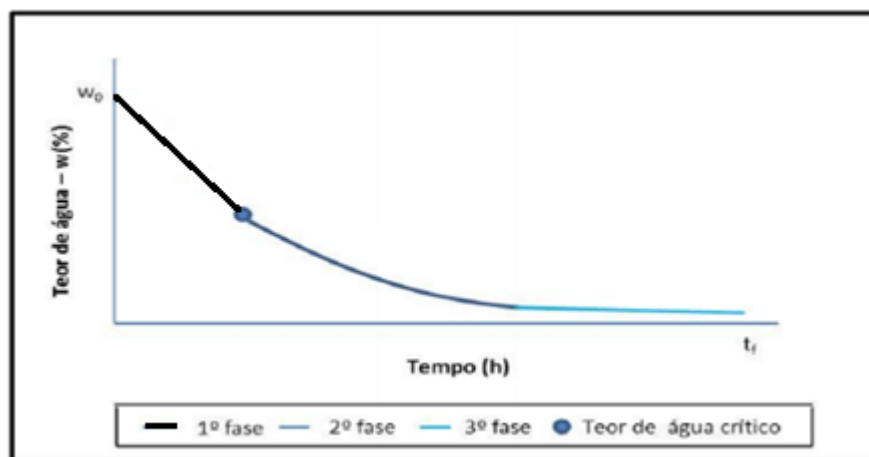


Figura 9-Curva típica de secagem dos materiais porosos (adaptado de Esteves, 2014)

2-Revisão Bibliográfica

Para construir uma curva do tipo da figura 9, efetuaram-se várias pesagens ao longo do tempo e lançou-se em gráfico o teor de água do material (W_i , %) em função do tempo, sendo (Esteves, 2014):

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad (12)$$

em que, m_i a massa do provete (g) no instante t_i e m_{seca} (g) a massa seca do provete (medida no início, antes de se iniciar a absorção de água).

Analisando o gráfico da figura 9, são bem visíveis as três fases distintas deste processo. Entre a primeira e a segunda fase a mudança é evidente, sendo separadas pelo ponto correspondente ao teor crítico de água, enquanto que entre a segunda e a terceira fases a mudança é muitas vezes impercetível.

Na primeira fase, a água é transportada do interior até à superfície do material por capilaridade, onde ocorre a evaporação a uma velocidade constante, o que leva à diminuição linear do teor de água no material. Considera-se que a taxa de secagem nesta fase depende, principalmente, das condições exteriores, como a humidade relativa, a temperatura e a dimensão dos poros, que quanto mais pequenos forem mais lenta será a secagem (Oliveira, 2013).

Na segunda fase, como o fluxo capilar já não consegue compensar a água evaporada superficialmente no material e o teor de água atinge o ponto crítico, deixa de ocorrer evaporação na superfície e a frente de evaporação/secagem recua para o interior do material. O transporte de água passa então a ser efetuado por capilaridade até à frente de secagem e por difusão até à superfície. O recuo constante da frente de secagem resulta numa evaporação cada vez mais lenta (Costa, 2013).

Na terceira fase, em determinado momento deixa de existir continuidade líquida no espaço poroso atrás da frente de secagem, devido à diminuição do teor de água no material, o que leva a que o transporte de vapor água assente exclusivamente na difusão. Nesta fase, a taxa de secagem diminui lentamente até que o material atinja o equilíbrio higroscópico, ou seja, o equilíbrio entre o meio ambiente e o material. Nesta fase, o material está tecnicamente seco, mas, permanecem alguns aglomerados de líquido nos poros mais pequenos (Costa, 2013).

A partir deste ponto secagem total de qualquer material só é possível recorrendo a métodos artificiais.

2.3-Humidade ascensional

A humidade ascensional ocorre devido à ação da capilaridade da água do terreno em que o edifício foi construído, sendo mais forte a ação capilar em poros mais pequenos e é considerada a

forma de humidade mais gravosa para as alvenarias. Esta humidade humedece os materiais com os quais está em contacto, podendo provocar odores (Costa, 2013).

Este tipo de humidade pode ser controlado através de várias técnicas como (Puim, et al., 2012):

- Redução da secção absorvente;
- Introdução de barreiras estanques;
- Injeção de produtos impermeabilizantes;
- Tratamento superficial do terreno contíguo ao edifício;
- Execução de valas periféricas;
- Electro-osmose.

2.3.1- Humidade ascensional e sais em edifícios antigos

Quando existem sais solúveis, o seu transporte, acumulação e cristalização podem ocorrer devido à presença de humidade ascensional através das paredes dos edifícios. Nas alvenarias afetadas por este tipo de humidade, os sais solúveis aparecem sob a forma de crostas nas zonas mais baixas e húmidas e nas zonas mais altas apresentam desagregação (Costa, 2013).

A existência de sais solúveis é especialmente relevante em edifícios antigos, uma vez que estes são muitas vezes constituídos por materiais porosos e hidrófilos, o que favorece a entrada e permanência de humidade na sua rede porosa, as paredes construídas em continuidade sobre o terreno, o que favorece a ascensão capilar. A degradação por sais progride mais depressa neste tipo de alvenarias, uma vez que muitas vezes são constituídas por materiais que apresentam baixa resistência mecânica, uma vez que são maioritariamente constituídas por cal aérea (Gonçalves, 2007).

A cristalização de sais é o principal fator de degradação de materiais porosos, dependendo a extensão dos estragos da quantidade e tipo de sais, das fontes de humidade presentes, das condições ambientais e do tipo de alvenaria/revestimento presente. Para reduzir a degradação devida a sais é necessário limitar as fontes de sais e humidade, principalmente a humidade ascensional.

Embora a cristalização seja o principal fator de degradação, a presença de sais não é suficiente para gerar degradação no material, é necessário a presença de humidade, quer seja na forma líquida ou de vapor, pois permite o transporte dos sais o que gera ciclos de cristalização-dissolução (Costa, 2013),

Ciclos de cristalização-dissolução que resultem de evaporação rápida, como no caso de elevada insolação, vento ou elevada ventilação e aquecimento originam frentes de secagem no

2-Revisão Bibliográfica

interior do revestimento o que pode originar uma degradação severa, pois os sais tendem a cristalizar no interior dos poros de pequenas dimensões (Costa, 2013).

Devido à ação capilar os poros de maiores dimensões secam primeiro e depois o transporte de vapor começa a ser dominante, deixando a fase líquida de ser contínua. Caso a evaporação seja moderada, a frente de secagem localiza-se à superfície do revestimento e a degradação é geralmente de menor grau, originando eflorescências e destacamento do revestimento por pintura. Caso a evaporação seja lenta não se espera a degradação do material, o filme líquido permite o transporte da solução por difusão a partir de poros de pequenas dimensões para os poros de menores dimensões, onde pode ocorrer cristalização (Gonçalves, 2007).

Há zonas, chamadas de zonas críticas, em que a concentração de sais é mais elevada o que pode levar a uma maior degradação do material poroso. Esta zona crítica depende do tipo de material e das condições envolventes, como a temperatura (Costa, 2013).

Os principais tipos de sais solúveis são os cloretos, sulfatos e os nitratos, sendo considerados também os mais destrutivos. Dentro dos cloretos, o NaCl é o mais frequente, e encontra-se principalmente em edifícios localizados perto da costa marítima, provocando degradação nestes quando a humidade relativa ronda os 75%. Os sulfatos podem ter origem em fertilizantes, em águas ácidas (SO₂) ou estarem presentes nos materiais de construção. Os nitratos podem estar presentes no ambiente como resultado da oxidação biológica ou então em fertilizantes. Há também sais que são considerados não destrutivos, sendo exemplo deles o carbonato de cálcio que forma eflorescências, mas não degrada o material (Gonçalves, 2007).

A chuva incidente, ciclos gelo-degelo, nevoeiro salino, condições do solo, condições de secagem rápida, e ataque biológico são os principais fatores ambientais que levam à degradação dos materiais.

As principais fontes dos sais podem estar nos materiais de construção, uma vez que podem conter sais na sua constituição, a utilização de água com sais ou a humidade ascensional por forças capilares. Como a água evapora devido a alteração das condições ambientais, os sais podem cristalizar no interior da estrutura porosa dos materiais, o que origina criptoflorescências, ou então podem cristalizar à superfície o que origina eflorescências (Costa, 2013).

Para se escolher a argamassa mais indicada para minimizar a degradação proveniente dos sais, deve ser determinada a composição da alvenaria e o seu estado de conservação, a causa da degradação e o tipo de ameaça proveniente do meio ambiente.

2.3.2-Soluções típicas de correção de camadas de sais em paredes

Há vários tipos de soluções no que diz respeito à presença de sais e à sua cristalização (Costa, 2013):

- Rebocos de saneamento;
- Aplicação de um hidrófugo de superfície;
- Revestimento “emboço ventilado”;
- Remoção electrocinética de sais.

O presente trabalho, focar-se-à na primeira técnica, rebocos de saneamento, combinada com a aplicação de hidrófugo de superfície, mas num contexto diferente da sua utilização típica.

2.3.2.1- Rebocos de saneamento

Os rebocos constituem a camada exterior da parede, pelo que estão sujeitos a todas as trocas de humidade existem entre o ambiente e os materiais de construção, determinando o teor de humidade e de sais nestes materiais. Têm a principal função de proteger o edifício contra a ação de agentes destrutivos, tais como a água, poluição e dos sais contidos na água e no solo, sobrepondo-se esta função à sua própria proteção (Penas, 2008, Gonçalves e Rodrigues, 2010).

Em relação à cristalização de sais, fator abordado nesta dissertação, há quatro tipos de funcionamento no que diz respeito a processos evaporativos e de cristalização, sendo estes (Gonçalves e Rodrigues, 2010):

- Rebocos de transporte de sal que favorecem a migração de soluções salinas até à superfície onde ocorre evaporação e, conseqüentemente, a formação de eflorescências, sendo a principal função dos rebocos de cal aérea (figura 10.a) ;
- Rebocos de bloqueio de sais que permitem o transporte no estado vapor mas não o de estado líquido, tendo a cristalização tendência a ocorrer junto à interface reboco/alvenaria. Um exemplo são os rebocos totalmente hidrofugados, tradicionais ou industriais (figura 10.c);
- Rebocos selantes, não permitem o transporte de vapor nem de líquido, por isso, teoricamente não ocorre cristalização, uma vez que não há evaporação. Contudo, as soluções podem ser desviadas para outros materiais ou para a alvenaria, locais onde é permitida a evaporação,

2-Revisão Bibliográfica

ocorrendo então a cristalização. Podem ocorrer ainda pontos de escape, como a fissuração do reboco onde irá ocorrer cristalização localizada de sal numa zona que se alarga progressivamente (figura 10.d);

- Rebocos de acumulação de sais permitem o transporte no estado líquido da solução desde o suporte até ao reboco, impedindo-a de atingir a superfície do reboco, logo a cristalização ocorrerá na massa do reboco e não à sua superfície. A maioria dos rebocos industriais seguem este princípio (figura 10.b).

Os rebocos selantes e de bloqueio de sais são inadequados a edifícios antigos quando estes são submetidos a elevados teores de humidade na presença de sais solúveis, por favorecerem a cristalização dos sais na alvenaria, contribuindo para a sua degradação.

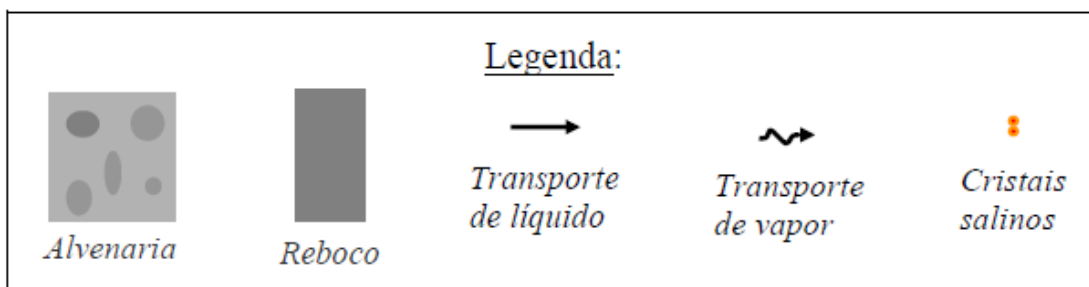
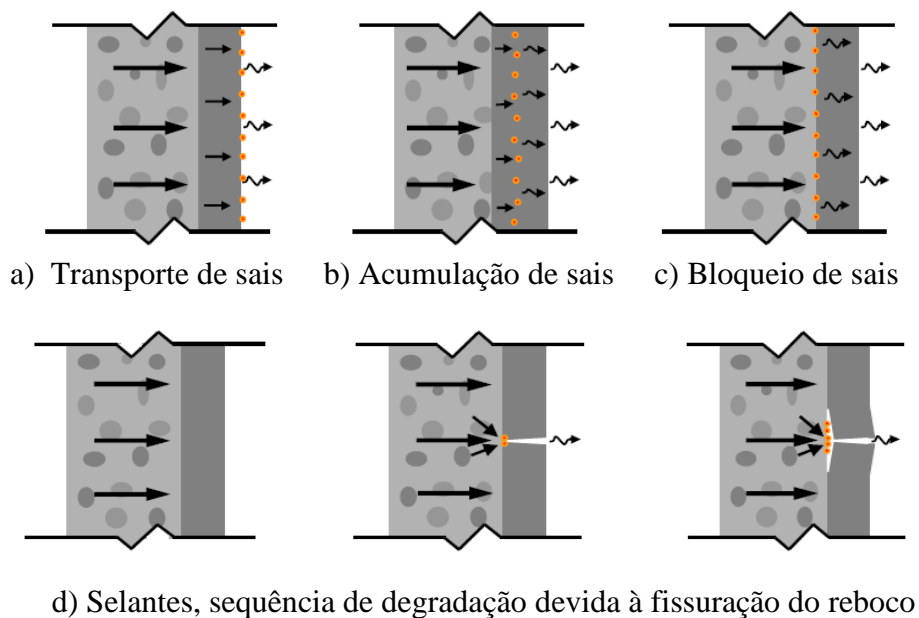


Figura 10-Principais quatro princípios de funcionamento dos rebocos (Gonçalves e Rodrigues, 2010)

2.3.2.2-Hidrófugos de superfície

2.3.2.2.1- Características gerais dos hidrífugos de superfície

A água exerce uma enorme influência nas propriedades dos materiais de construção porosos, uma vez que reduz o seu desempenho térmico e acústico, pode provocar eflorescências, acelera o crescimento de micro-organismos, contribui para o aparecimento de salitres, o que leva a um decréscimo na higiene e no bem-estar do ser humano. Com vista a prevenir estas alterações nos materiais porosos devidas à água, uma das opções é a aplicação de um produto hidrífugo (Oliveira, 2013).

A aplicação de hidrífugos sobre superfícies de materiais tem como objetivo conferir-lhes propriedades hidrorrepelentes, protegendo-as da ação da água, ou seja, reduzir a adsorção capilar nas superfícies dos materiais através da sua ação repelente por via química, contudo, sem afetar a sua permeabilidade ao vapor (Oliveira, 2013; Esteves, 2014).

Os produtos hidrífugos podem ser aplicados nas superfícies através de três métodos: a pincel, por capilaridade ou por imersão. São tradicionalmente produtos incolores, embora já existam noutras cores sem, no entanto, diferirem nas suas propriedades em relação ao produto análogo incolor. Um dos possíveis aspetos indesejáveis da aplicação destes produtos é a possível alteração da cor do material onde são aplicados, secagem retardada e redução da permeabilidade de vapor (Couto, 2010).

Há vários tipos de produtos hidrífugos, sendo os mais populares e mais utilizados os produtos à base de silício (silicones), tais como os silanos, siloxanos, resinas de silicónicas, silicanatos e silicatos. Outros produtos hidrífugos são, por exemplo, organo-metálicos, resinas acrílicas, poliuretanos e perfluorpoliéteres, embora nesta dissertação apenas se vá abordar os produtos hidrífugos à base de silício, já que apresentam elevadas características hidrífugas, elevada durabilidade e resistência aos fatores atmosféricos, aos produtos químicos e aos micro-organismos. Já que estes hidrífugos à base de silício apresentam baixa viscosidade, conseguem penetrar profundamente nos poros dos substratos porosos (Couto, 2010; Oliveira, 2013).

Durante a vida útil destes produtos, estes estão sujeitos ao efeito da degradação química ou física, que se manifesta através das propriedades hidrorrepelentes destes. Ainda não é possível afirmar com exatidão a que se deve a perda de propriedades dos hidrífugos. Através de pesquisas feitas até ao presente, é possível concluir que a eficácia dos produtos hidrífugos depende de vários fatores como a eficácia inicial, onde se verifica imediatamente a capacidade do produto hidrífugo alterar o comportamento do material face à presença de água, a nocividade, onde se verifica se o hidrífugo pode provocar alterações indesejáveis que possam vir a alterar o comportamento do

2-revisão bibliográfica

tratamento e a durabilidade, onde se determina durante quanto tempo o hidrófugo mantém as suas propriedades intactas (Esteves, 2014).

2.3.2.2-Requisitos dos hidrófugos

Já que a grande função dos hidrófugos é prevenir a entrada de água em materiais porosos de construção, é de vital importância que estes cumpram determinados requisitos, de modo a conferirem um bom desempenho. Estes requisitos são, principalmente (Esteves, 2014):

- Reduzida alteração do aspeto dos materiais onde são aplicados;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Reduzida capacidade de absorção de água por capilaridade;
- Reversibilidade, ou seja, que sejam de fácil remoção quando a sua ação hidrófuga estiver esgotada;
- Estabilidade à ação ultravioleta e aos agentes químicos;
- Facilidade de aplicação.

3-Metodologia experimental

Toda a metodologia experimental foi realizada nas mesmas condições controladas, ou seja, temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $55 \pm 5\%$.

3.1-Apresentação e caracterização dos materiais utilizados

Neste subcapítulo ir-se-ão apresentar os produtos utilizados para a realização experimental deste trabalho, sendo eles, argamassa porosa de cal (APC), argamassa porosa térmica (APT), Leca e hidrófugo Silano/Siloxano (HSS).

3.1.1-Leca

Na tabela 1 são apresentadas as características físicas e químicas da Leca.

Tabela 1- Características físicas e químicas da Leca (Saint-Gobain Weber)

Dimensões (mm)	10 a 20
Forma da partícula	Aproximadamente esférica;
Massa volúmica da partícula (kg/m^3)	$530 \pm 15\%$
Condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$)	0,11
Absorção de água máxima	<38% da massa seca
pH	9-10
Teor de sais (%)	Cl ⁻ : <0,1; SO ₃ ²⁻ : <0,4; Enxofre total (S): <0,2.

3.1.2-Argamassas APC e APT

Na tabela 2, estão apresentadas as características principais das duas argamassas utilizadas neste trabalho e na figura 11 e 12 ambas as argamassas em pó.

Tabela 2- Características das argamassas APC e APT utilizadas (Saint-Gobain Weber)

	APC	APT
Cor	Bege;	Amarelo;
Utilizações	Tratamento e saneamento de problemas relacionados com sais solúveis transportados por ascensão capilar em paredes de edifícios recentes ou antigos;	Isolamento de paredes novas ou a reabilitar. Adequado à reabilitação de paredes antigas com superfícies irregulares;
Suportes adequados	Paredes antigas: alvenaria de pedra e/ou tijolo, adobe, taipa, tabique. Suportes antigos incorporando argamassas de cal; Paredes novas: alvenaria de bloco leve ou normal, tijolo, pedra e betão;	Paredes novas: alvenaria de blocos leves de Leca, de tijolo e bloco de betão, betão, rebocos de cimento e pedra; Paredes antigas: paredes a reabilitar, constituídas por alvenarias toscas com argamassas de cal ou em pedra,
Composição	Cal hidráulica natural, ligante pozolânico e hidráulico, cargas minerais, fibras sintéticas e adjuvantes específicos;	Ligante mineral, cargas minerais, cargas leves, aditivos especiais.
Massa volúmica aparente do produto endurecido (kg/m ³)	1500-1600	150±5
Condutividade térmica (λ) W/(mK)	0,82	0,042
Capilaridade (kg.m ⁻² .min ^{-1/2})	0,3 kg/m ² (24h)	0,4
Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ)	≤15	5



Figura 11-APT em pó

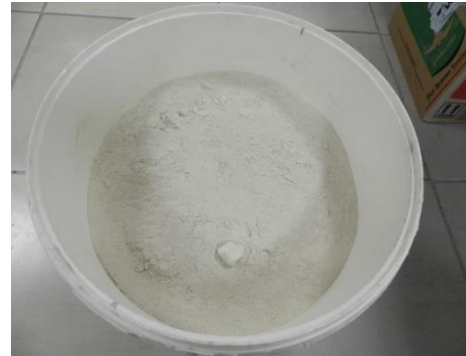


Figura 12- APC em pó

3.1.3-Hidrófugo Silano/Siloxano (HSS)

Neste trabalho foi utilizado um hidrófugo Silano/Siloxano (designado por HSS), que é uma microemulsão de silicone concentrada, baseada em silanos e siloxanos que são diluídos em água. As características deste composto estão apresentadas na tabela 3 e o seu aspeto ilustrado na figura 13.

Tabela 3- Principais características do HSS (Wacker Group)

Densidade a 25°C (g.dm ⁻³)	0.96-1
Viscosidade a 25°C (mPa.s)	1-10
Teor de silano/siloxanos	Aproximadamente 100%
Aplicação	Impermeabilização
Cor	Alaranjado translúcido



Figura 13-Aspeto do hidrófugo HSS

3.2-Preparação dos materiais

3.2.1-Preparação de provetes

Foram preparados provetes segundo a norma EN 196-1:2006, cada um com dimensões de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, dos materiais APC e APT, para posteriormente serem efetuados ensaios de absorção de água por capilaridade, secagem e ensaio de resistência aos sais. O procedimento para ambos os materiais, apenas varia a quantidade de água e de material.

Para cada um dos materiais determinou-se a água do amassado necessária. Para isso, pesaram-se 200g de cada um e, partindo-se de um certo valor de água, foi-se adicionando água ao mesmo tempo que se ia mexendo até os materiais ficarem com o aspeto de uma pasta consistente. Após ser determinada a água para cada material no passo anterior, procedeu-se ao amassado. Calculou-se a quantidade de água a cada material sabendo-se que se iriam pesar 2kg de APC e 250g de APT.

Para a argamassa APT fez-se amassadura com uma relação de pó e água de 250 g/300g de água. Para a argamassa APC fez-se amassadura com uma relação de pó e água de 2kg/390g.

Para a obtenção do amassado seguiram-se os seguintes tempos/procedimento:

- 1º- Pré-mistura à mão
- 2º- 15'' máquina amassadora
- 3º- 1' mistura à mão
- 4º- 1'15'' máquina amassadora



Figura 14-Amassadora



Figura 15-Molde de provetes

Após a amassadura, procedeu-se à preparação dos provetes. Para isso, para cada material, encheu-se metade do molde dos provetes com o amassado anteriormente obtido e aplicaram-se “25 pancadas” de compactação por queda do provete numa altura aproximada de 10 cm. Seguidamente, encheu-se o resto do molde com o material amassado e aplicaram-se mais “25 pancadas” por compactação. Retirou-se o excesso de material com uma espátula e, após 24 horas, desmoldaram-se os provetes.

Após a preparação dos moldes de provetes estar completa e dos provetes terem sido desmoldados, esperou-se 3, 7, 15 e 28 dias até se iniciar o teste de capilaridade.



Figura 16- Provete de APT

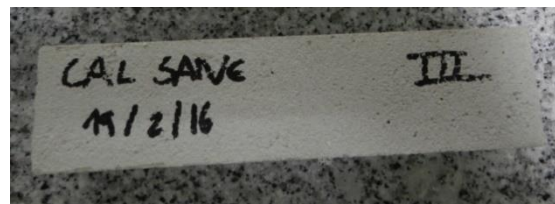


Figura 17- Provete de APC

3.2.2-Preparação de Leca

Numa primeira fase procedeu-se à montagem de um sistema simples para observar os efeitos de capilaridade da Leca. Para isso, cortou-se parte de um volume de plástico deixando-a com forma cilíndrica (ver figura 18), colocou-se uma rede na base (que fica em contacto com a água), introduziu-se a Leca até perfazer um volume de 1250 mL e colocou-se novamente rede, de modo a que a Leca não saísse acidentalmente da garrafa (9 cm de diâmetro e 24 cm de altura).



Figura 18- Volume de Leca

3.2.2-Preparação de Leca hidrofugada

Preparou-se 1250 mL de Leca, à qual se adicionou 250 mL de HSS, o correspondente a 20% do volume de Leca utilizado, e colocou-se num saco de plástico, agitando-o vigorosamente para que todo o hidrófugo fique espalhado pela Leca. Como a Leca não consegue absorver todo o hidrófugo, ainda dentro do saco de plástico, retirou-se o hidrófugo restante.



Figura 19- Saco de plástico com Leca e HSS

Após a retirada deste excesso de hidrófugo, colocou-se a Leca e o restante hidrófugo num recipiente (notando-se uma cor mais escura desta Leca em relação à não hidrofugada) durante 24h, tempo até se iniciar o estudo da capilaridade. Este procedimento repetiu-se para tempos de 3 e 7 dias à temperatura controlada da sala e 7 dias a 70°C, procedendo-se ao fim destes tempos ao estudo da capilaridade.

O ensaio indicado também foi realizado para 10% de HSS (125 mL) face ao volume de Leca (1250 mL).



Figura 20-Leca hidrofugada

3.2.3-Preparação de Leca intervalar

Admitindo ser apenas necessário uma espessura mínima de camada de Leca hidrofugada para fazer o corte capilar, também por uma questão de redução de custos, realizaram-se dois ensaios que implicaram intercalar Leca não hidrofugada e hidrofugada.

Assim, tem-se:

- Leca intervalar A

Neste ensaio colocaram-se 5 cm de Leca não hidrofugada na zona inferior em contacto com a água, seguidos de 6 cm de Leca hidrofugada com 20% de hidrófugo (hidrofugada 3 dias antes) e perfazendo-se os restantes 13 cm com Leca não hidrofugada.

- Leca intervalar B

Neste ensaio colocaram-se 5 cm de Leca hidrofugada com 20% de hidrófugo, na zona em contacto com a água (hidrofugada 3 dias antes) e fez-se os restantes 21 cm com Leca não hidrofugada. Repetiu-se este ensaio, variando a quantidade de Leca hidrofugada utilizada, nomeadamente, 5 e 3 cm.

3.3-Ensaio de absorção de água por capilaridade

3.3.1-Leca e Leca hidrofugada

Num recipiente fechado, colocou-se um esfregão de arame verde permeável e encheu-se com água destilada até à sua altura, de modo a ficar bem ensopado e o volume acima dele com a Leca (ver figuras 21 e 22).

3-Metodologia experimental

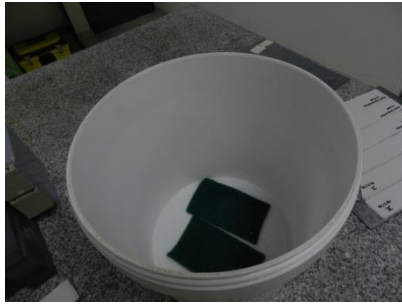


Figura 21- Recipiente alto com esfregão verde

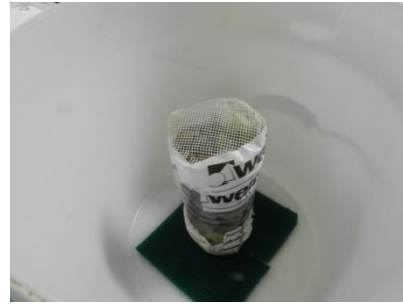


Figura 22-Volume de Leca dentro do recipiente com água destilada

Realizaram-se então pesagens do volume com a Leca ao fim de intervalos de tempo definidos de 10, 20, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 340, 390 e 1440 minutos (ver figura 23), tendo-se o cuidado de “enxaguar” a base da garrafa com papel absorvente para remover gotas de água excedentes que afetavam os resultados finais. Após a pesagem, voltou-se a colocar a garrafa no recipiente com a água, realizando-se após o intervalo de tempo definido uma nova pesagem e assim sucessivamente durante 24 horas.

Após este ensaio, é então possível calcular o coeficiente de capilaridade obtido pelo declive inicial da curva de absorção (C_{declive}) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{min}^{-1/2}$, assim como o fluxo de água às 24 h ($W_{\text{absorvida}}$) em g.dm^{-2} .



Figura 23-Pesagem do volume com Leca

3.3.1.1-Altura atingida pela água

Definiram-se várias frações de altura no volume de Leca para se determinar a concentração de água que a Leca continha em cada uma, permitindo obter a altura máxima de ascensão capilar de água pelo material. Definiram-se 7 frações, retirando-se de cada uma várias amostras de Leca que se colocaram, num vidro de relógio, e mediu-se a sua massa. Posteriormente, foram colocados na estufa a 70°C. Depois de 3 dias na estufa, retiraram-se as 7 amostras e registou-se novamente a massa, determinando-se assim a percentagem de água absorvida pela Leca em cada fração (figura 24 e 25).

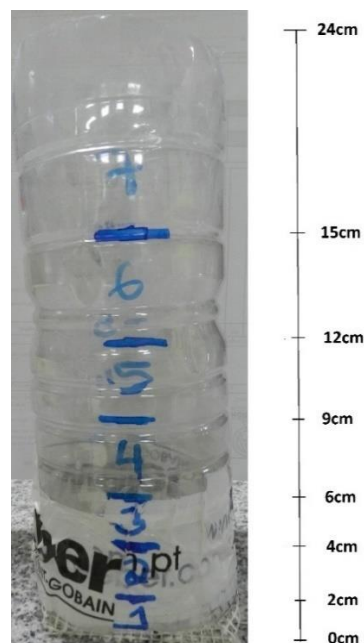


Figura 24-Diferentes frações de volume com Leca, consideradas na avaliação de altura máxima de ascensão capilar



Figura 25-Amostras de Leca de cada fração nos vidros de relógio

3-Metodologia experimental

3.3.2-Provetes de APC e APT

Colocaram-se os provetes num recipiente fechado, sobre um esfregão verde permeável em contacto com a água, de modo à sua base estar 100% em contacto com este. Realizaram-se pesagens de ambos os provetes nos mesmos tempos efetuados para a Leca durante 24 horas.

Este ensaio foi realizado para provetes com 7, 14 e 28 dias de cura.

3.4-Secagem

O ensaio da secagem é realizado logo após o término do ensaio de absorção de água por capilaridade, utilizando os mesmos materiais/provetes deste ensaio.

3.4.1-Leca

Após a última medição do ensaio de absorção de água por capilaridade, o volume de Leca é deixado a secar na mesma sala onde ocorreu o ensaio referido, nas mesmas condições, mas é colocado sobre um recipiente como ilustrado na figura 26 (30 cm de raio e 10 cm de altura).

A Leca é então pesada após 60, 120, 240, 360, 480, 1440 e 2880 minutos após o término no ensaio de absorção de água por capilaridade, tendo o cuidado de registar o valor da massa do recipiente onde se coloca a Leca.



Figura 26-Leca no recipiente em fase de secagem

3.4.2- Provetes APC e APT

Após a última medição do ensaio de absorção de água por capilaridade, os provetes são deixados a secar na mesma sala e nas mesmas condições onde ocorreu o ensaio referido.

Os provetes são então pesados após 60, 120, 240, 360, 480, 1440 e 2880 minutos após o término no ensaio de absorção de água por capilaridade.

3.5-Resistência à penetração de sais

No ensaio de resistência à penetração de sais, sujeitaram-se ambas as argamassas (APC e APT) e a Leca ao ataque por sais de cloretos e sulfatos (NaCl e Na_2SO_4) tendo sido feitos provetes para este efeito, com 14 dias de cura.

Para a Leca, o ensaio foi realizado no material existente, sem necessidade de preparações prévias (ver figura 27).

3.5.1-Sais de cloretos

Para o ensaio à resistência aos sais de cloreto utilizaram-se soluções de cloreto de sódio 0,1M e 0,01M e uma de controlo contendo água destilada. 14 dias após a preparação dos provetes, colocaram-se os provetes dentro desta solução durante 24h e, após este tempo, retiraram-se e colocaram-se na estufa a 70°C durante o mesmo período de tempo, pesando-se os provetes após arrefecimento. Efetuou-se este ensaio também para a Leca, colocando-se esta de modo a estar imersa em toda a solução.

Seguidamente, os provetes e a Leca foram colocados 12h em ambiente com 90% de humidade relativa (Hr) através de uma solução saturada de sulfato de zinco contida num recipiente (ver figuras 28 e 29) e posteriormente em 12h em ambiente com 60% Hr, correspondendo as situações anteriores a um ciclo. No final de cada ciclo pesaram-se os provetes novamente, de forma a calcular-se a variação de massa em relação à massa inicial e procedeu-se a uma observação visual destes, de modo a avaliar o estado da sua degradação

3-Metodologia experimental



Figura 27-Volume de Leca a imergir para o ensaio de resistência aos sais

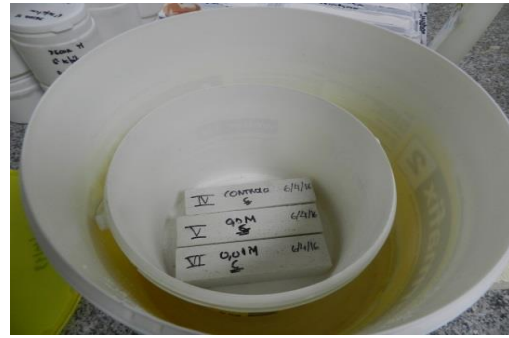


Figura 28-Provete de APC em ambiente de umidade relativa 90%

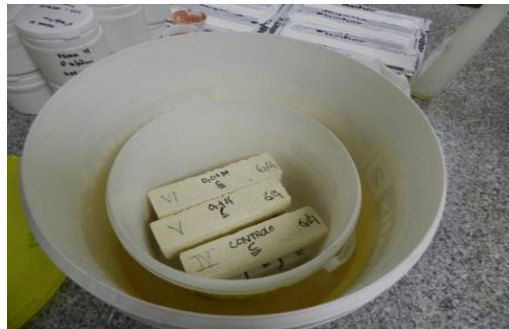


Figura 29-Provete de APT em ambiente de umidade relativa 90%

3.5.2- Sais de sulfatos

Para o ensaio da resistência à ação de sais de sulfato, utilizaram-se soluções de sulfato de sódio 0,1M e 0,01M, e ainda um provete de controlo em água destilada. Nas figuras 30 e 31 estão representados os provetes de ambas as argamassas submetidos a este ensaio, APC e APT respetivamente.

Pesaram-se os provetes em fase inicial. Posteriormente mergulharam-se os provetes nestas soluções durante 2h (ver figuras 32 e 33), seguido de 22h na estufa a 70°C, representando estas situações um ciclo. Depois de completo o ciclo determinou-se a massa em relação à massa inicial. Procedeu-se também a uma observação visual dos provetes, de modo a avaliar o estado da sua degradação, tal como no ensaio com sais de cloretos.

3-Metodologia experimental



Figura 30-Provetes de APC submetidos ao ensaio de sais de sulfatos



Figura 31-Provetes de APT submetidos ao ensaio de sais de sulfatos

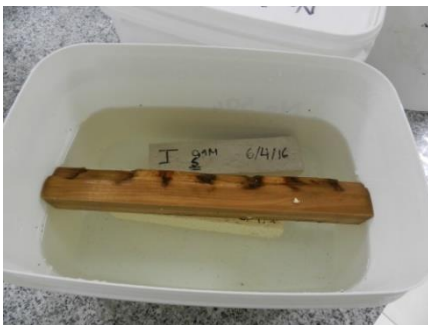


Figura 32-Provetes imersos na solução de 0,1M



Figura 33-Provetes imersos na solução de 0,01M

4-Análise e discussão dos resultados

4.1-Absorção de água por capilaridade

Nas secções seguintes, são apresentados os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade dos materiais em estudo, ou seja, APC, APT e Leca. Os principais resultados são expressos ao nível do coeficiente de absorção de água por capilaridade (C_{declive}) e o fluxo de água absorvida após 24 horas ($W_{\text{absorvida}}$).

4.1.1- Leca

Na figura 34, está representado o comportamento capilar para a Leca e os resultados individuais obtidos estão apresentados em anexo (ver tabela 14).

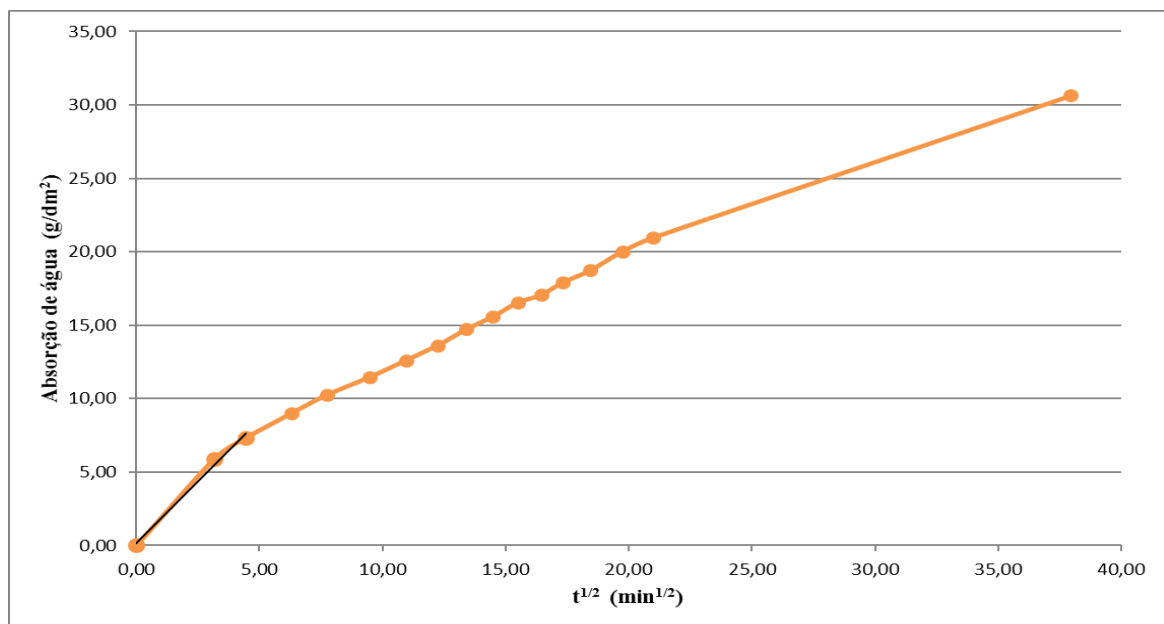


Figura 34- Curva de absorção capilar da Leca não hidrofugada. (A curva é uma linha de tendência)

Pela análise da figura 34, obtém-se resultados para C_{declive} de $1,68 \text{ g.dm}^{-2}.\text{min}^{-1/2}$ para $W_{\text{absorvida}}$ de $30,64 \text{ g.dm}^{-2}$.

4-Análise e discussão dos resultados

4.1.2- Leca hidrofugada

É expectável que a adição de um produto hidrófugo aplicado na Leca resulte na diminuição da água absorvida por capilaridade.

Para o efeito, realizou-se um ensaio a partir da hidrofugação da Leca com várias percentagens de agente hidrófugo e variando-se o tempo de espera após a mistura: neste sentido, prepararam-se as seguintes combinações:

- Leca hidrofugada com 20 % de hidrófugo, com 24 h de espera após a mistura (24h-20%H);
- Leca hidrofugada com 10 % de hidrófugo, com 24 h de espera após a mistura (24h-10%H);
- Leca hidrofugada com 20 % de hidrófugo, com 3 dias de espera após a mistura (3 dias-20% H);
- Leca hidrofugada com 20 % de hidrófugo, com 7 dias de espera após a mistura (7 dias-20% H);
- Leca hidrofugada com 20% de hidrófugo, com 7 dias de espera em estufa a 70°C após a mistura (7 dias-20% H e 70°C);
- Leca não hidrofugada (N/hidrofugada).

A tabela 4 e figuras 35 e 36 apresentam os resultados obtidos para os ensaios realizados. Os resultados individuais encontram-se em anexo (ver tabelas 14 e 15) .

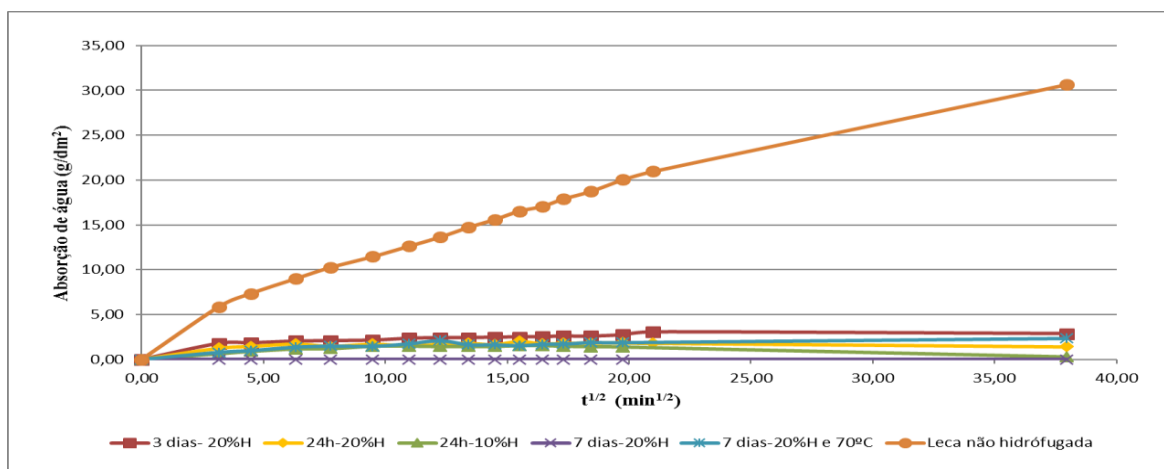


Figura 35-Curvas de absorção capilar da Leca hidrofugada e não hidrofugada. (As curvas são linhas de tendência)

Pela observação da figura 35 conclui-se facilmente que a aplicação de um produto hidrófugo à Leca, resulta numa diminuição do coeficiente de absorção capilar (entre 74% e 95%), assim como é também notória a redução na quantidade de água absorvida (pelo menos 6 vezes menor).

Tabela 4- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para a Leca hidrofugada

Leca	$C_{\text{declive}} \text{ (g.dm}^{-2}\text{.min}^{-1/2}\text{)}$	$W_{\text{absorvida}} \text{ (g.dm}^{-2}\text{)}$	R^2
3 dias-20% H	0,44	2,86	0,935
24h-20% H	0,34	1,41	0,975
7 dias-20% H	0,080	1,24	0,994
24h-10% H	0,20	0,26	0,999
7 dias 70°C-20% H	0,23	2,35	0,992

Pela análise de resultados da tabela 4 verifica-se que todos os casos apresentam uma redução da absorção de água por capilaridade relativamente à Leca não hidrofugada inferior conforme previsto. Por outro lado, não se verifica uma tendência evidente sobre as diversas variações adotadas ao nível da quantidade de hidrófugo utilizado e de tempo de espera antes da realização dos ensaios. Ainda assim, quando se utiliza 20% de hidrófugo e um tempo de espera de 7 dias, o resultado destaca-se como mais eficiente. Ao invés, a colocação a 70°C piora o desempenho por, provavelmente, contribuir para a evaporação de agente hidrófugo adsorvido pela Leca.

Também se observa, pela análise da figura 36, que a partir de um tempo, para o qual a ascensão capilar se mantém num valor estável, ocorre em alguns casos uma curva de absorção, que se pode dever à evaporação simultânea do hidrófugo ao longo do processo, eventualmente não adsorvido suficientemente pelas partículas.

4-Análise e discussão dos resultados

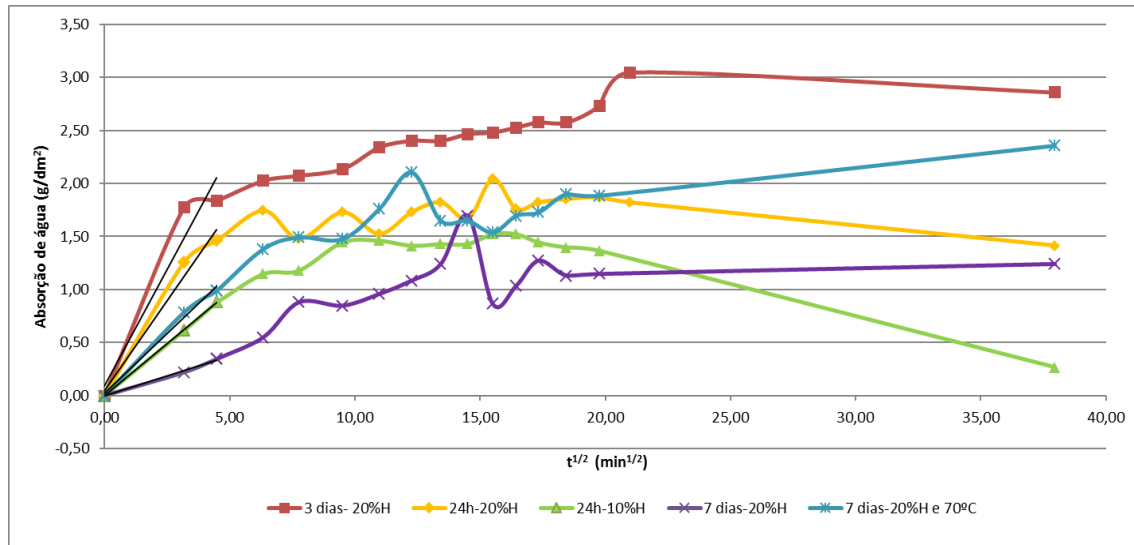


Figura 36-Curva de absorção capilar para a Leca hidrofugada. (As curvas são linhas de tendência)

4.1.3- Leca intervalar

A figura 37 e tabela 5 apresentam os resultados obtidos para as avaliações relativas à colocação de Leca e Leca hidrofugada de forma intervalada (ver tabelas 15 e 17 em anexo), para as seguintes combinações:

- Intervalar A: Leca N/Hidrofugada (5 cm) + Leca hidrofugada (5 cm) + Leca N/Hidrofugada (restante altura-cerca de 14 cm);
- Intervalar B-3: Leca hidrofugada (3 cm) + Leca N/Hidrofugada (restante altura- cerca de 21 cm);
- Intervalar B-5: Leca hidrofugada (5 cm) + Leca N/Hidrofugada (restante altura-cerca de 19 cm).

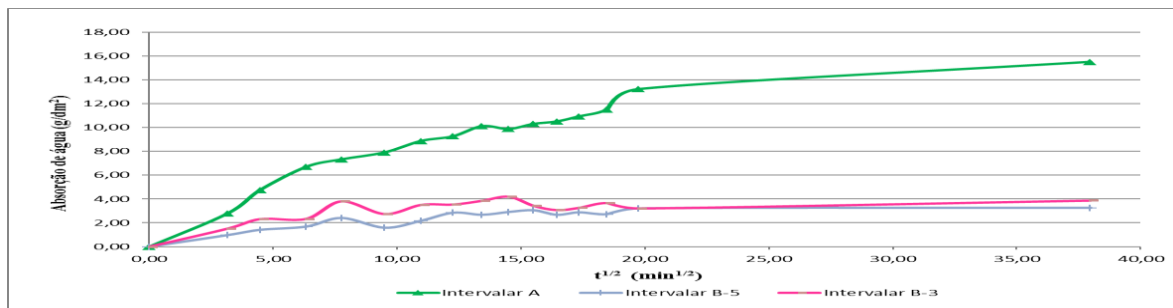


Figura 37-Curvas de absorção de água por capilaridade para a Leca intervalar. (As curvas são linhas de tendência)

Tabela 5- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para a Leca intervalar

Combinação	C_{declive} (g.dm ⁻² .min ^{1/2})	$W_{\text{absorvida}}$ (g.dm ⁻²)	R^2
Intervalar A	1,03	15,50	0,982
Intervalar B-3	0,51	3,88	0,996
Intervalar B-5	0,32	3,25	0,999

Os resultados obtidos na figura 37 e tabela 5 evidenciam um comportamento de absorção de água por capilaridade totalmente dependente da fração de Leca que está em contacto direto com o filme de água.

Assim, para os casos B-3 e B-5, que iniciam por camadas de Leca hidrofugada, nota-se um decréscimo do coeficiente de absorção de água por capilaridade e do valor do fluxo de água absorvida às 24 horas, embora com desempenho menor que os correspondentes a um caso com 100% de Leca hidrofugada (conforme dados da tabela 4). Por outro lado, uma altura inicial constituída por Leca não hidrofugada (Leca intervalar A) revela um comportamento menos resistente à ascensão de água por capilaridade; considerando que após 5 cm existe uma camada de Leca hidrofugada, é natural observar uma melhoria relativamente a um volume de Leca não hidrofugada.

4.1.3.1-Altura atingida pela água na Leca por absorção capilar

Na figura 38 são apresentadas as diferentes frações de Leca em altura, de modo a perceber-se até onde subiria a água absorvida por capilaridade, para a Leca não hidrofugada, a Leca intervalar A e a Leca intervalar B-5.

4-Análise e discussão dos resultados

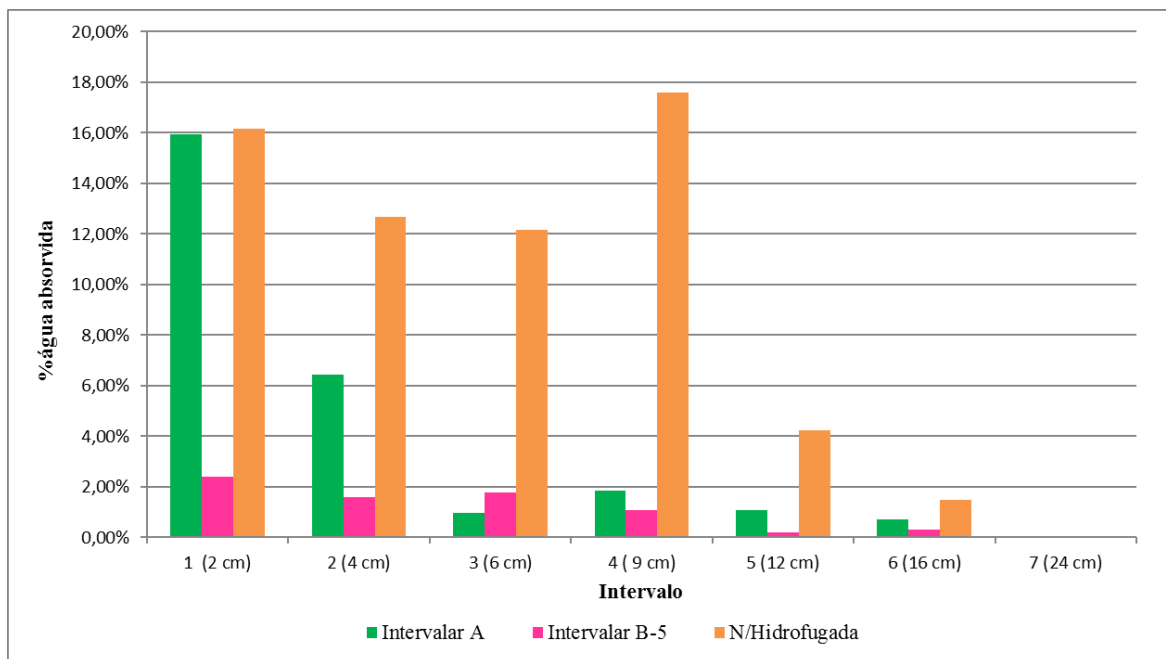


Figura 38-Percentagem de água absorvida em cada intervalo das frações recolhidas

Pela análise da figura 38 verifica-se que, comparando todas as amostras, a opção B-5 apresenta menor quantidade de água absorvida por capilaridade, sendo praticamente inexistente a absorção de água a partir da fração 5 ($z= 12$ cm). Relativamente à opção A, nota-se que o seu comportamento se começa a diferenciar relativamente à Leca não hidrofugada a partir da fração 2, que equivale a uma altura próxima de 5cm, correspondente à zona intervalar onde se coloca a Leca hidrofugada.

Estes resultados permitem concluir que o comportamento final de um sistema intervalar está diretamente relacionado com o grau de hidrofugação da Leca em contacto direto com a água.

4.1.2-Argamassa Porosa Térmica (APT)

Na figura 39 está representado o comportamento capilar para a argamassa APT após 3, 7, 14 e 28 dias de cura. Os resultados individuais obtidos estão apresentados em anexo (ver tabela 12). Na tabela 6 mostram-se os valores do coeficiente de capilaridade obtido pelo declive inicial da curva de capilaridade (C_{declive}), assim como o fluxo de absorção de água por capilaridade ao fim de 24h ($W_{\text{absorvida}}$).

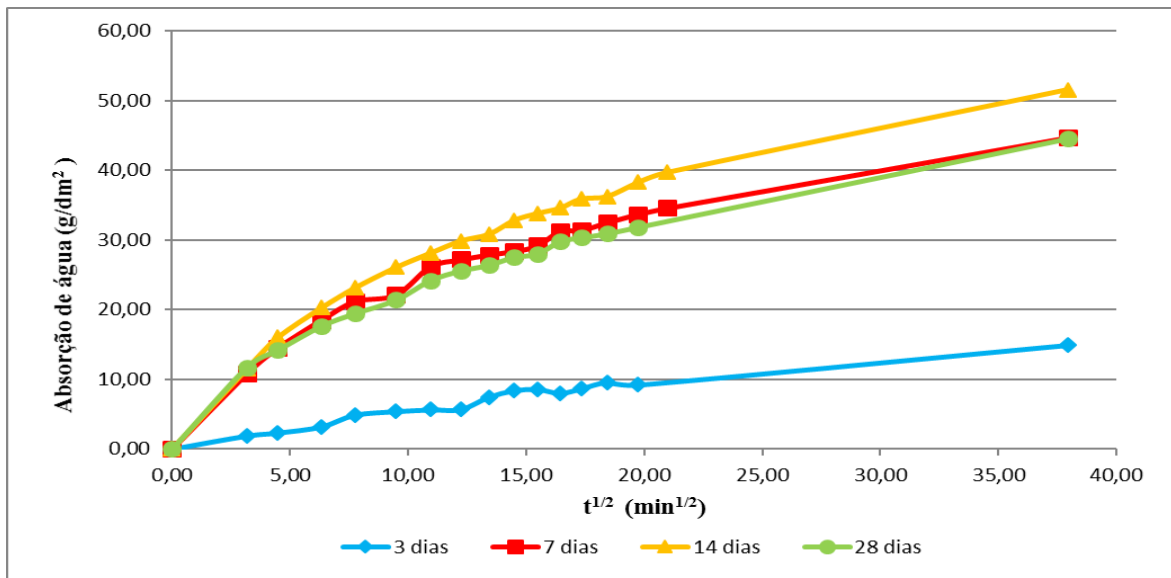


Figura 39-Comportamento capilar de APT com tempo de cura de 3, 7,14 e 28 dias. (As curvas são linhas de tendência)

Tabela 6- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para APT

Provete	$C_{declive}$ (g.dm ⁻² .min ^{-1/2})	$W_{absorvida}$ (g.dm ⁻²)	R^2
3 dias	0,53	14,88	0,988
7 dias	3,28	44,69	0,998
14 dias	3,60	51,56	0,999
28 dias	3,27	44,50	0,985

Analisando os resultados apresentados na tabela 6 verifica-se que o provete com 3 dias de cura é o que apresenta menores valores de capilaridade, o que é, muito provavelmente, explicado por ainda restar água de amassadura no interior do provete, o que faz com que este absorva pouca água por capilaridade, não sendo, portanto, estes resultados os mais representativos do desempenho real da argamassa. Nos outros provetes verifica-se um coeficiente de capilaridade sensivelmente equivalente, sendo superior no provete com 14 dias de cura (3,60 g.dm⁻².min^{-1/2}).

4.1.3-Argamassa Porosa de Cal (APC)

Para a argamassa APC apresentam-se os do comportamento capilar para a argamassa após 3, 7, 14 e 28 dias de cura (ver figura 40), assim como os resultados obtidos dos coeficientes de capilaridade e a absorção de água por capilaridade no final do ensaio (tabela 7).

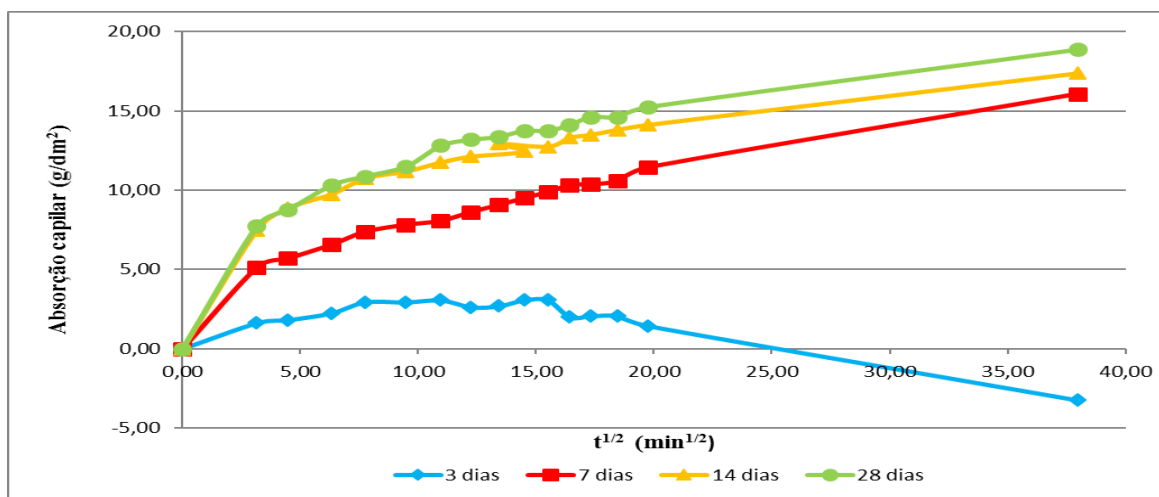


Figura 40- Comportamento capilar do APC com tempo de cura de 3, 7, 14 e 28 dias. (As curvas são linhas de tendência)

Tabela 7- Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade para o APC

Provete	$C_{declive}$ ($g.dm^{-2}.min^{-1/2}$)	$W_{absorvida}$ ($g.dm^{-2}$)	R^2
3 dias	0,43	-3,25	0,962
7 dias	1,34	16,06	0,961
14 dias	2,06	17,38	0,979
28 dias	2,05	18,88	0,966

Analisando a figura 40 verifica-se que o ultimo valor lido é negativo para a argamassa seca durante 3 dias, o que não faz sentido, mas que pode significar que o provete continha um alto teor de água de amassadura no seu interior que se foi evaporando ao longo do ensaio. A água que vai sendo absorvida por capilaridade não consegue compensar esta perda por evaporação, resultando em valores negativos.

Relativamente aos restantes observa-se que o de 7 dias de cura é o que apresenta menor $C_{declive}$ ($1,34 g.dm^{-2}.min^{-1/2}$), enquanto que os provetes com 14 e 28 dias de cura obtiveram valores de $2,06 g.dm^{-2}.min^{-1/2}$ e $2,05 g.dm^{-2}.min^{-1/2}$, respetivamente.

Também se observa que os valores de absorção de água por capilaridade para a argamassa APC são substancialmente menores que os valores obtidos para a argamassa APT. Comparativamente à Leca as duas argamassas apresentam valores superiores aos 28 dias (C_{declive} ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1/2}$): Leca=1,68 < APC=2,05 < APT=3,27).

Face a estes resultados é possível admitir que um leito de pavimento com Leca, associado a uma parede com reboco (APT e APC) apresenta um transporte de água adequado, sendo a Leca, especialmente se for hidrofugada, um “tampão” ao excesso de água na zona de paredes que causaria a sua potencial degradação, especialmente quando existem saís.

4.2-Secagem

Para o ensaio da secagem foram utilizados os provetes e volumes de Leca, para todos os casos em avaliação, o qual é iniciado após o término do ensaio de capilaridade. Os resultados obtidos são apresentados nas secções seguintes.

4.2.1-Leca não hidrofugada

Na figura 41 mostra-se as zonas de análise para a Leca não hidrofugada, como a 1ª fase de secagem que resulta no declive de secagem, o ponto de inflexão que representa o início de 2ª fase (t/min , $W_i7\%$) e o ponto para o qual se considera a estabilização de secagem final.

4-Análise e discussão dos resultados

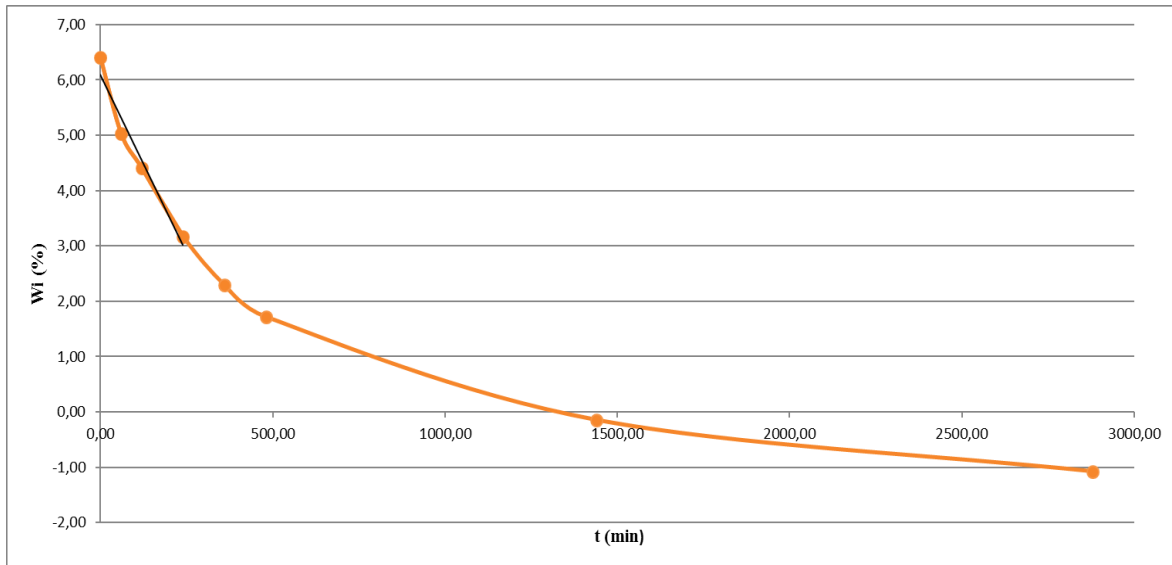


Figura 41- Evolução da secagem da Leca não hidrofugada. (A curva é uma linha de tendência e a reta inicial foi ajustada até ao ponto de inflexão)

Pela análise da figura 41 verifica-se que a curva de secagem segue o comportamento de uma curva de secagem teórica de materiais porosos, mas apresenta valores negativos, o que pode significar que está a ser evaporada água proveniente do ensaio de capilaridade e também água retida na Leca antes do início deste ensaio.

Na figura 42, está representada a evolução da secagem dos vários volumes de Leca não hidrofugada, nas várias variáveis indicadas atrás.

Analisando a figura 42 verifica-se que existem vários valores negativos, o que resulta do balanço de água ganha anteriormente no ensaio de capilaridade e de perda de agente hidrófugo dissorvido das próprias partículas de Leca ao longo do ensaio.

Na tabela 8 estão apresentados os resultados obtidos através da análise das curvas de secagem para a Leca N/Hidrofugada e para todos os casos onde a mesma é hidrofugada, onde se ajustou uma reta até ao ponto de inflexão.

Na tabela 8 estão apresentados os resultados obtidos através da análise das curvas de secagem para a Leca N/Hidrofugada e para todos os casos onde a mesma é hidrofugada, onde se ajustou uma reta até ao ponto de inflexão.

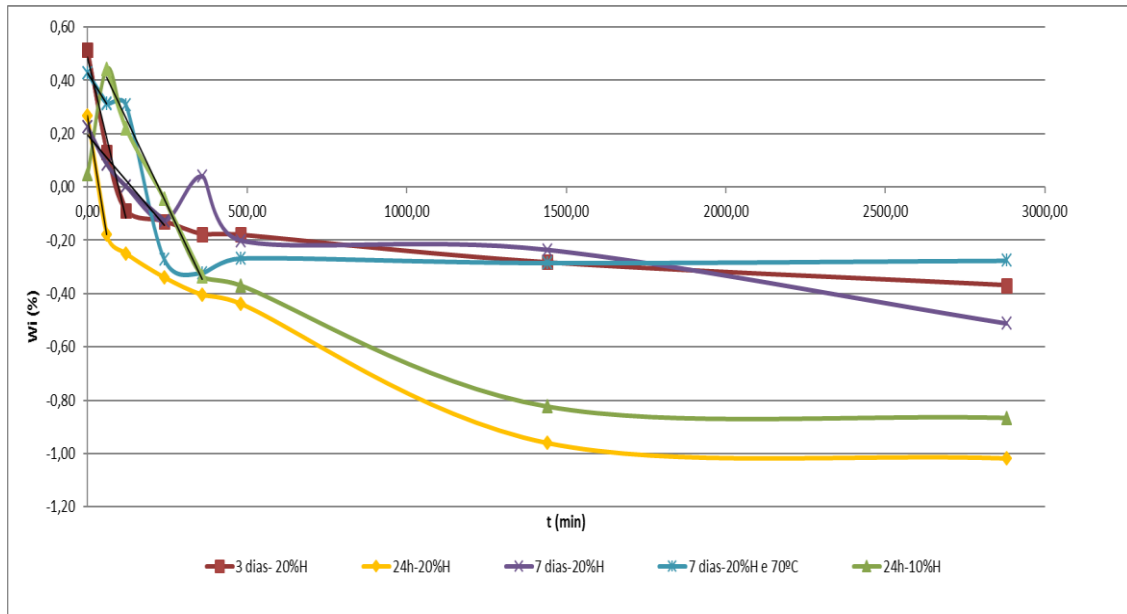


Figura 42- Evolução da secagem da leca hidrofugada. (As curvas são linhas de tendência)

Tabela 8-Resultados obtidos na secagem da Leca

Leca	Declive	R ²	Ponto de inflexão (t; Wi)	Wi quando tende para zero (t; 0)
N/Hidrofugada	-0,013	0,958	(480; 1,72)	(1300; 0)
3 dias- 20%H	-0,0050	0,976	(240; -0,13)	(100; 0)
24h-20%H	-0,0074	1,000	(120; -0,25)	(30; 0)
24h-10%H	-0,0025	0,992	(360; -0,34)	(220; 0)
7 dias-20%H	-0,0014	0,964	(240; -0,13)	(120; 0)
7 dias- 20%H 70°C	-0,0019	1,000	(120;0,31)	(190; 0)

Analisando a tabela 8, verifica-se que a Leca N/hidrofugada é a que apresenta maior declive, sendo, portanto, mais influenciada pela absorção de água. É também onde W_i tende para zero mais tarde, assim como o ponto de inflexão também ocorre mais tarde em relação à Leca hidrofugada, o que significa que a 1ª fase de secagem é mais demorada em relação aos outros casos.

Na figura 43 compara-se a evolução da secagem da Leca não hidrofugada com a Leca hidrofugada.

Analisando a figura 43 verifica-se que a curva da Leca não hidrofugada começa com valores de W_i bastante mais elevados em relação às curvas de Leca hidrofugada, resultado de maior absorção

4-Análise e discussão dos resultados

de água do ensaio de capilaridade. Independentemente da água inicial absorvida, a tendência das curvas de secagem é similar.

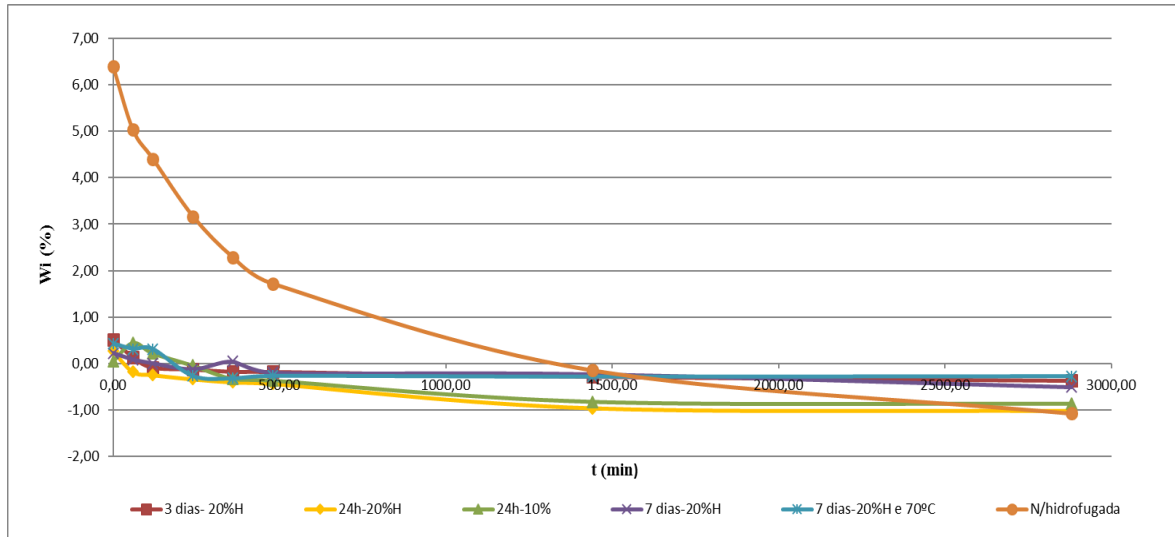


Figura 43-Comparação da evolução da Leca não hidrofugada com a Leca hidrofugada

4.2.2-Argamassa Porosa Térmica (APT)

Na figura 44, estão representadas as curvas de secagem para a argamassa APT em 3, 7, 14 e 28 dias de cura.

Analisando a figura 44 é possível concluir que existem valores negativos para o provete com 3 dias de cura, o que pode ser explicado pela evaporação de água do ensaio de capilaridade e também água restante de amassadura e cura do material. Quanto aos provetes com tempos de cura de 7, 14 e 28 dias todos seguem uma curva de secagem típica, pelo que, para este material, poder-se-iam utilizar os provetes a partir de qualquer tempo de cura.

Na tabela 9 estão apresentados os resultados obtidos através da análise das curvas de secagem para os provetes de APT, onde se ajustou uma reta até ao ponto de inflexão. Analisando esta tabela, verifica-se que o provete com 14 dias de cura é o que apresenta o maior declive, embora seja similar nos outros casos. É também onde W_i é superior aos outros provetes quando se analisa o último ponto, ou seja, quando W_i toma o menor valor e o ponto de inflexão ocorre mais cedo, mas novamente com pouca degradação para os casos de 7 e 28 dias.

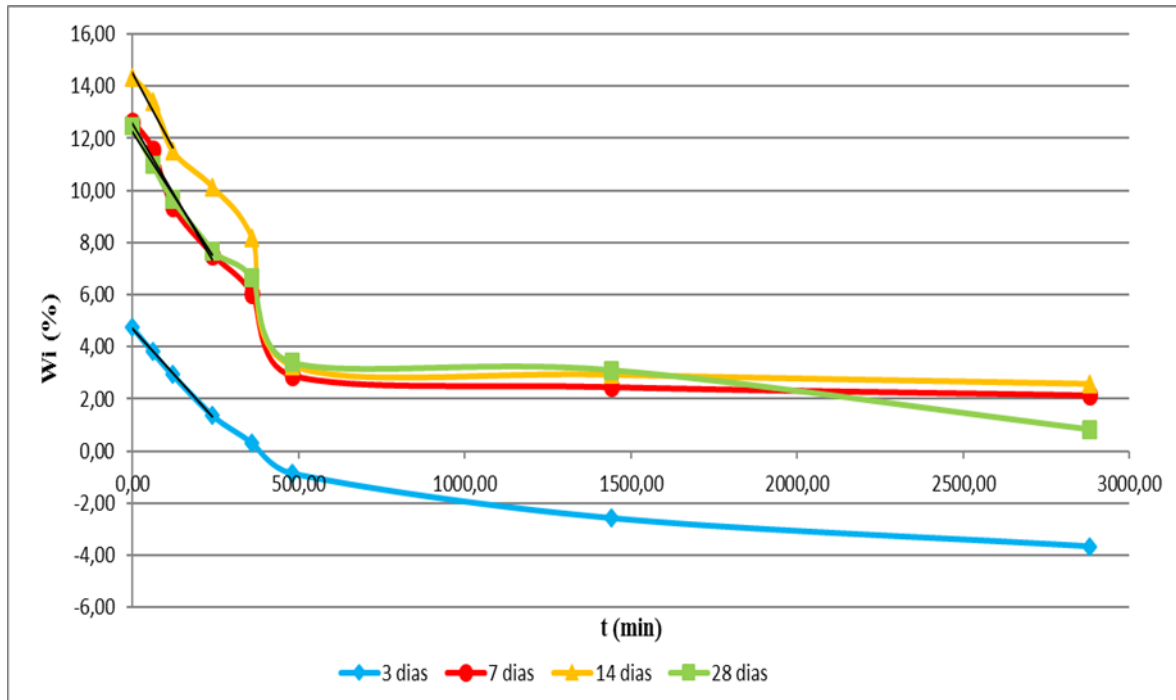


Figura 44- Curva de secagem para o APT. (As curvas são linhas de tendência)

Tabela 9-Resultados obtidos na secagem dos provetes de APT

Provete	Declive	R ²	Ponto de inflexão (t; Wi)	Wi quando tende para zero (t; 0)
3 dias	-0,014	0,998	(360; 0,32)	(370; 0)
7 dias	-0,022	0,970	(360; 6,05)	(2880; 2,15)
14 dias	-0,024	0,960	(240; 10,13)	(2800; 2,58)
28 dias	-0,020	0,989	(360; 6,64)	(2880; 0,84)

4.2.3- Argamassa Porosa de Cal (APC)

Na figura 45, estão representadas as curvas de secagem para a argamassa APC 3, 7, 14 e 28 dias de cura

4-Análise e discussão dos resultados

Analisando a figura 45 verifica-se novamente que os provetes com 3 e 7 dias de cura apresentam valores negativos de percentagem de teor de água o que, tal como no caso da APT, pode ser explicado pela eliminação de água da absorção por capilaridade e também água restante de amassadura e cura. Quanto aos provetes com tempos de cura de 14 e 28 dias, ambos seguem uma curva de secagem típica, pelo que, para este material, poder-se-iam utilizar os provetes com qualquer um destes tempos de cura.

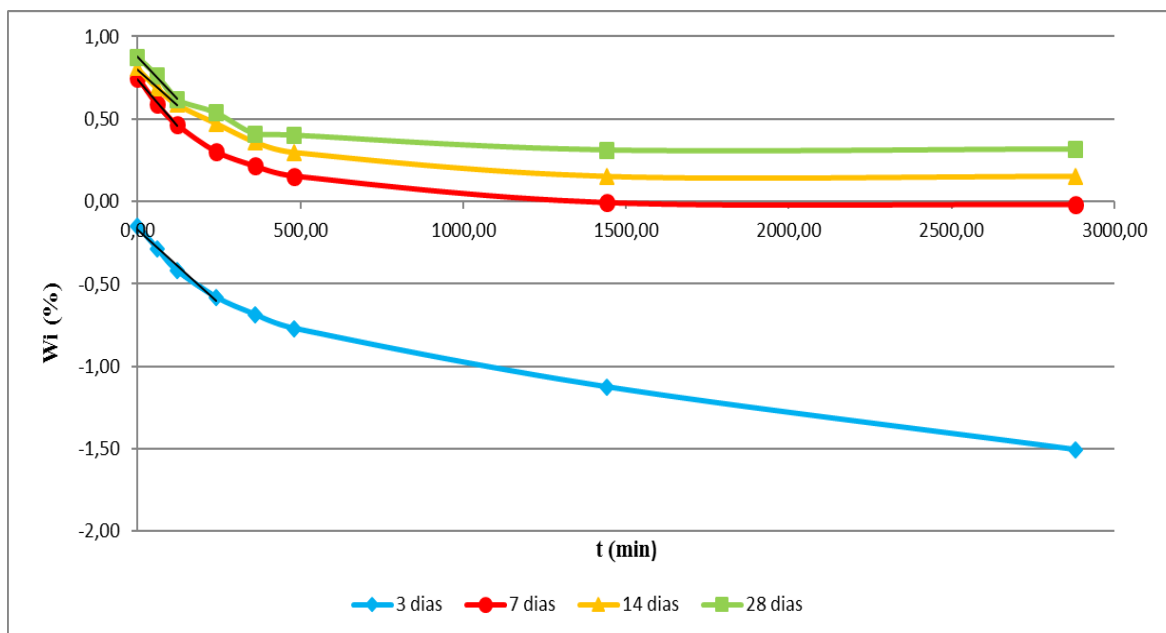


Figura 45-Curva de secagem para o APC. (As curvas são linhas de tendência)

Na tabela 10 estão apresentados os resultados obtidos através da análise das curvas de secagem para os provetes de APC, onde se ajustou uma reta até ao ponto de inflexão. Analisando esta tabela, verifica-se que o provete com 7 dias de cura é o que apresenta o maior declive. Nos provetes com 14 e 28 dias de cura, o ponto de inflexão ocorre antes, ou seja, a 1ª fase de secagem termina mais rapidamente.

Dado que para este material apenas se poderiam utilizar os provetes com 14 ou 28 dias de cura, foi determinado que se usariam apenas estes provetes com estes tempos de cura em ambos os materiais, APT e APC, para os ensaios de absorção de água e posterior secagem.

Tabela 10- Resultados obtidos na secagem dos provetes de APC

Provete	Declive	R ²	Ponto de inflexão (t; Wi)	Wi quando tende para zero (t; 0)
3 dias	-0,0018	0,980	(480; -0,0077)	(2800; -0,015)
7 dias	-0,0024	0,993	(360; 0,21)	(1300; 0)
14 dias	-0,0018	0,997	(240; 0,47)	(2800; 0,15)
28 dias	-0,0021	0,997	(240; 0,54)	(2880; 0,32)

4.3-Ensaio de resistência aos sais

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência aos sais de cloretos e sulfatos obtidos, até ao momento, para as argamassas APC e APT.

4.3.1-Sais de cloretos

Até ao momento foram realizados 47 ciclos para o APC e APT e 20 ciclos para a Leca, em que cada ciclo demora cerca de 24h.

Na tabela 11 estão representadas as percentagens de cloretos retidas inicialmente para os materiais em estudo para as diferentes concentrações de NaCl.

Os resultados obtidos para a percentagem de cloretos inicial sugerem que ambas as argamassas retêm sais, embora a APT consiga reter uma maior percentagem face à APC. Relativamente à Leca, dado que apresenta valores negativos, é expectável que não tenha capacidade de retenção de sais.

Na figura 46 estão representados os resultados obtidos até ao momento para as argamassas e a Leca em estudo.

Tabela 11- Percentagem de cloretos retida inicialmente

Leca			APC			APT		
0,1 M	0,01M	Controlo	0,1M	0,01M	Controlo	0,1M	0,01M	Controlo
-0,80	-0,25	0,69	0,11	0,10	0,61	0,80	0,41	0,61

4-Análise e discussão dos resultados

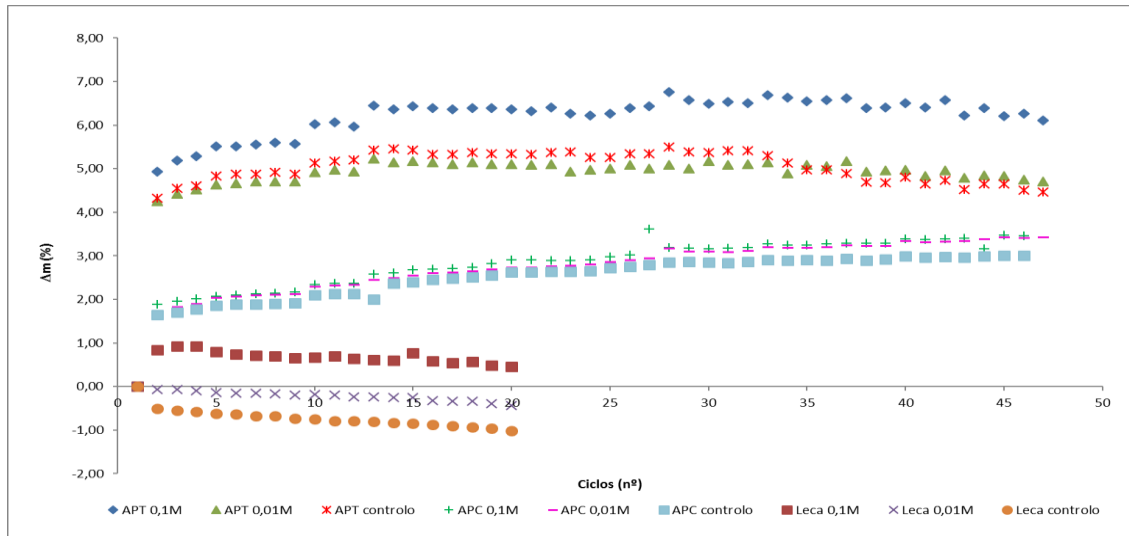
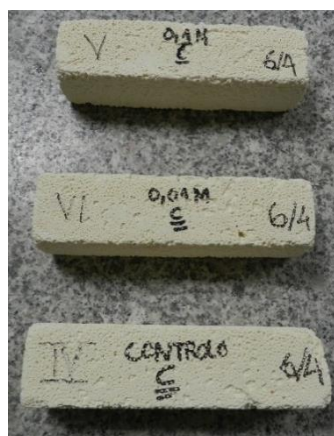


Figura 46- Resultados dos ciclos de cloretos para a Leca até 20 ciclos e para as argamassas até 47 ciclos

Através dos resultados apresentados ainda não é possível determinar qual a argamassa mais resistente aos sais (após 47 ciclos). Este ensaio irá decorrer até ocorrer a degradação total dos provetes. No caso da Leca, face aos valores baixos de ganho de massa e, conseqüentemente, de sais parou-se o ensaio após 20 ciclos.

Na figura 47 estão representados os provetes de APT e APC após terem sido submetidos a 47 ciclos de sais cloretos. É possível observar que nos provetes de APT as arestas e vértices destes se encontram com forma arredondada e desgastada, o que significa que sofreram alguma degradação durante este ensaio. Nos provetes de APC não se verificam alterações.



a) APT



b) APC

Figura 47- Provetes de APT (a) e APC (b) após serem submetidos a 47 ciclos aos sais de cloretos

4.3.2-Sais de sulfatos

Até ao momento foram realizados 26 ciclos para a Leca e 55 ciclos para as argamassas APT e APC. Na figura 48 estão apresentados os resultados obtidos para o ensaio à retenção de sais de sulfatos.

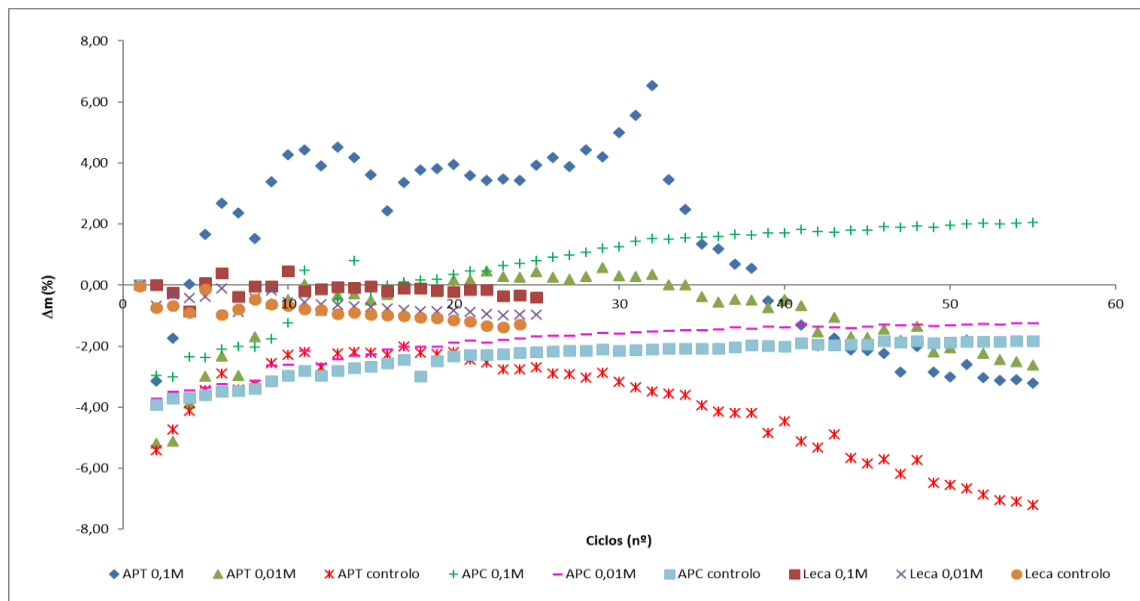


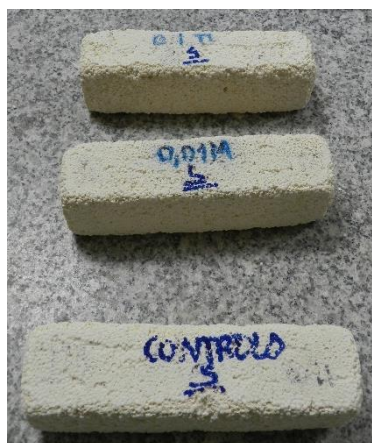
Figura 48- Resultados dos ciclos de cloretos para a Leca até 24 ciclos e para as argamassas até 55 ciclos

Tal como no ensaio dos cloretos, também para os sais de sulfatos não se observa, até ao momento, a degradação total dos provetes ou da Leca, por isso os ensaios irão continuar até se verificar a sua degradação. Em relação à Leca finalizou-se o ensaio aos 20 ciclos, concluindo-se que esta não reteria sulfatos.

Para o caso da argamassa APT verifica-se um início de degradação (perda de massa) entre 25 e 30 ciclos. Admite-se, ao momento, que tal seja consequência principalmente da humidade e não dos sais de sulfatos, uma vez que não se observa fissuração nos provetes e também há um decréscimo de massa no provete de controlo.

Na figura 49 estão representados os provetes de APT e APC após terem sido submetidos a 43 ciclos de sais sulfatos. É possível observar que nos provetes de APT as arestas e vértices destes se encontram com forma arredondada e desgastada, comparativamente ao que se verifica para os sais cloretos, o que significa que sofreram alguma degradação durante este ensaio. Nos provetes de APC não se registem alterações.

4-Análise e discussão dos resultados



a)



b)

Figura 49- Provetes de APT (a) e APC (b) após serem submetidos a 55 ciclos aos sais de sulfato

5-Conclusões e desenvolvimentos futuros

O presente trabalho centrou-se em encontrar uma solução para a humidade ascensional e consequente aparecimento de sais solúveis nas paredes dos edifícios, principalmente nas construções mais antigas.

Em relação ao ensaio de absorção de água por capilaridade da Leca, verifica-se que esta absorve bastante água, visto ser um material com porosidade aberta. Ao ser aplicado um produto hidrófugo neste material, verifica-se um enorme decréscimo no coeficiente de capilaridade (entre cerca de 75 a 96%), verificando-se, portanto, uma alta eficiência na prevenção de absorção de água por capilaridade, o que pode ser interessante ao nível de pisos térreos. Dentro desta solução, foram aplicadas duas percentagens de hidrófugo (10 e 20 %) em relação ao volume de Leca, assim como foram iniciados os testes de absorção de água por capilaridade vários dias depois da aplicação do hidrófugo na Leca.

Após a realização destes ensaios conclui-se que os resultados melhoram após 3 dias de mistura entre a Leca e o hidrófugo. Verifica-se que as curvas deste ensaio para a Leca hidrofugada são bastante mais irregulares em relação à curva da Leca não hidrofugada, o que origina questões do tipo de ligação entre os dois materiais e a sua estabilidade no tempo.

Quanto à secagem da Leca, as curvas obtidas permitem concluir que o processo de eliminação de água é rápido e segue padrões correntes de materiais porosos. Para os casos de Leca hidrofugada, a obtenção de resultados irregulares, e com perdas negativas de massa para alguns casos, confirma a necessidade de explorar a relação de interface entre a partícula de Leca e o agente hidrófugo.

Com intuito de reduzir os custos associados à aplicação de um produto hidrófugo, testou-se apenas uma pequena quantidade de Leca hidrofugada preenchendo o restante volume com Leca não hidrofugada. Em relação à Leca intervalar A verificou-se que não seria viável, uma vez que o coeficiente de capilaridade permanece elevado, absorvendo a Leca tanta água como anteriormente. Em relação à Leca intervalar B, foram testadas duas alturas de Leca hidrofugada, 5 e 3 cm. Como se realizou primeiro o ensaio com 5 cm, verificou-se que a Leca não ascendia a toda esta altura, então voltou a repetir-se o ensaio para 3 cm, onde foi também verificado que a água não ascenderia além dessa altura, sendo, portanto, preferível 3 cm ao invés de 5 cm por uma questão económica, já que a aplicação de produto hidrófugo é de custo elevado.

A conjugação destes resultados, redução da ascensão capilar por adição de agente hidrófugo e a capacidade de evaporação rápida de água absorvida, permite considerar esta solução (Leca e Leca

5-Conclusões e desenvolvimentos futuros

hidrofugada) como possível na regulação da ascensão de água em pisos térreos com potencial valor técnico na relação com as paredes adjacentes. Esta conclusão precisa, porém de uma análise mais profunda destes balanços (penetração e libertação de água) para aferição da mesma uma vez que os resultados apresentados são preliminares.

Em relação às argamassas testadas, APC e APT, ambos os coeficientes de capilaridade estão dentro dos valores já tabelados. Quanto às curvas de absorção de água por capilaridade, verificam-se valores negativos nos provetes com 3 dias de cura, o que significa que está a ser absorvida água por capilaridade, mas esta absorção não consegue compensar a evaporação de água de amassadura contida ainda no interior dos provetes. Os valores negativos na secagem destes provetes prendem-se também no mesmo motivo, com libertação de água absorvida por capilaridade, mas também água proveniente da amassadura e não eliminada na cura inicial.

Relativamente à curva de secagem, verifica-se que, a partir das retas ajustadas aos primeiros pontos das curvas da Leca, APC e APT, os maiores declives provêm dos provetes de APT e da Leca não hidrofugada, que resulta de maior quantidade de água absorvida previamente.

Nos ensaios à resistência de penetração de sais nas argamassas APC e APT, até ao momento, quer nos sais de cloretos ou de sulfatos, não se verifica perda de massa ou degradação visualmente, o que significa que as argamassas potencialmente continuam a reter sais sem se verificar a sua degradação.

Face aos resultados obtidos, é possível admitir que um leito de pavimento com Leca, associado a uma parede com reboco (APT e APC) apresenta um transporte de água adequado, sendo a Leca, especialmente se for hidrofugada, um “tampão” ao excesso de água na zona de paredes, minimizando a sua potencial degradação, especialmente quando existem sais.

Como desenvolvimentos futuros, é sugerida uma divisão desta dissertação, ou seja, estudar com mais detalhe a aplicação de um hidrófugo à Leca, ou vários hidrófugos, de maneira a tentar modelar-se o comportamento da Leca a diferentes tipos destes produtos, quer na absorção de água por capilaridade quer na sua secagem e estudar com mais detalhe também a retenção de sais destas argamassas, quer ao nível macroscópico como microscópico.

Outra vertente de estudo consiste na modelação dos movimentos de água e sais acoplados num modelo construtivo entre um pavimento e uma parede, com as soluções descritas no presente trabalho, nomeadamente, aplicação de leca no leito de pavimento e de argamassa no revestimento interior da parede.

6-Bibliografia

- Almeida, P. (Maio 2009). *Influência no comportamento mecânico da leca*. Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- Beben, D. e Manko, Z. (2011). *Influence of selected hydrophobic agents on some properties of autoclaving cellular concrete (ACC)*. *Construction and Building Materials*, 25(1), 282–287..
- Censos 2011. Acedido em 6/6/20116;
http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos2011_apresentacao&xpid=CENSOS
- Costa, A. (2013). *Revestimentos compatíveis para alvenarias antigas sujeitas a ação severa da água*. Tese de Doutoramento, UA, Aveiro.
- Couto, S. (2010). *-Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos. Influência na secagem*. Tese de Mestrado, ISEL, Lisboa.
- Dullien, F. (1979). *Porous media. Fluid transport and pore structure*, Segunda edição. Nova Iorque: Academic Press. ISBN 0-12-223650-5.
- EN 1015-18:2002. *Methods of test for mortar for masonry- Part 18: Determination of water adsorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*.
- EN 196-1 2006. *Métodos de ensaio de cimentos-Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*.
- Esteves, C. (2014). *O comportamento de hidrófugos de superfície em revestimentos exteriores*. Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- Freitas, V. (1992). *Transferência de humidade em paredes de edifícios. Análise do fenómeno da interface*. FEUP, Porto.
- Freitas, V; Torres, M; Guimarães, A. (2008). *Humidade Ascensional*. FEUP edições, ISBN 978-972-752-101-2.
- Gonçalves, T. (2007). *Salt crystallization in plastered or rendered walls*. Tese de doutoramento, IST, Lisboa.
- Gonçalves, T., e Rodrigues, J. (2010). *Argamassas de revestimento para paredes afetadas por cristalização de sais solúveis: Influência do substrato*. Comunicação do "3º congresso Português de argamassas de construção". APFAC, Lisboa
- Guia Weber* . (2016). Saint Gobain Weber.
- Magalhães, A. (2002). *Patologias de rebocos antigos*. LNEC, Cadernps de Edifícios, nº2, Lisboa.
- Oliveira, M. (2013). *Estudo da durabilidade da ação de repelentes de água em fachadas de edifícios recentes*. Tese de Mestrado, FEUP, Porto.

6-Bibliohgrafia

- Patriarca, M. (2012). *Utilização de materiais de aterro leves no domínio das obras geotécnicas*. Tese de Mestrado, FCT-UNL, Lisboa.
- Pavão, J. (2010). *Estudo da influência da dosagem de ligante no desempenho de rebocos para edifícios antigos*. Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- Penas, F. (2008). *Argamassas de cal hidráulica para revestimentos de paredes*. Tese de Mestrado, IST, Lisboa.
- Puim, P. et. al. (2012). *Controlo e prevenção de anomalias devidas à cristalização de sais solúveis em edifícios antigos. Patologia dos materiais e elementos construtivos*. 4º Congresso de patologia y rehabilitación de edificios, PATORREB.
- Riley, C. (Abril de 1951). Relation of Chemical Properties to the Bloating Clays. *Journal of the American Ceramic Society*, 34(4), 121-128.
- Rodrigues, J. (1991). *Causes, mechanisms and measurement of damage in stone monuments*. Butterworth-Heinmann, Oxford: Science, technology and European Cultural Heritage.
- Rodrigues, P. (2004). *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas*. Tese de Doutoramento, FCT-UNL, Lisboa.
- Saint Gobain Weber. Acedido em 29/4/2016. *Soluções Leca*:
<http://www.weber.com.pt/solucoes-leca-r/solucoes.html>
- Saint-Gobain Weber. *Ficha técnica Leca Light Plus*, (Acedido em 5/5/2016):
http://www.weber.com.pt/uploads/tx_weberproductpage/ft_leca_light_plus.pdf
- Saint-Gobain Weber. *Ficha técnica weber.cal sane*. (Acedido em 29/4/2016):
http://www.weber.com.pt/uploads/tx_weberproductpage/FT_calsane.pdf
- Saint-Gobain Weber. *Ficha técnica weber.therm aislone* (Acedido em 29/4/2016):
<http://www.weber.com.pt/isolamento-termico-pelo-exterior/solucoes/argamassas-para-sistemas-webertherm/webertherm-aislone.html>
- Saint-Gobain Weber. *Processo de fabricação da argila expandida Leca*. (Acedido em 16/4/2016)
www.weber.com.pt
- Silva, B. (2007). *Betão leve estrutural com agregados de argila expandida*. Tese de Mestrado, Porto.
- Veiga, M. (2005). *Comportamento de rebocos para edifícios antigos. Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos*. Seminário "Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos", LNEC, Lisboa.
- Wacker Group. *SILRES® BS SMK 550*. (Acedido em 29/4/2016);
<http://www.wacker.com/cms/en/products/product/product.jsp?product=10101>

Anexos

Tabela 12-Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a argamassa APT

$t^{1/2}$ (min ^{1/2})	Provete											
	3 dias			7 dias			14 dias			28 dias		
	Massa provete (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa provete (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa provete(g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa provete(g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)
0,00	46,96	0,00	0,00	45,06	0,00	0,00	45,33	0,00	0,00	46,13	0,00	0,00
3,16	47,26	0,3	1,87	46,79	1,73	10,81	47,17	1,84	11,50	48,00	1,87	11,69
4,47	47,33	0,37	2,31	47,38	2,32	14,50	47,89	2,56	16,00	48,40	2,27	14,19
6,32	47,47	0,51	3,19	48,02	2,96	18,50	48,57	3,24	20,25	48,95	2,82	17,63
7,75	47,74	0,78	4,88	48,45	3,39	21,19	49,03	3,70	23,13	49,24	3,11	19,44
9,49	47,82	0,86	5,38	48,60	3,54	22,13	49,50	4,17	26,06	49,55	3,42	21,38
10,95	47,86	0,9	5,62	49,25	4,19	26,19	49,83	4,50	28,13	50,00	3,87	24,19
12,25	47,87	0,91	5,69	49,41	4,35	27,19	50,11	4,78	29,88	50,22	4,09	25,56
13,42	48,15	1,19	7,44	49,52	4,46	27,88	50,26	4,93	30,81	50,35	4,22	26,38
14,49	48,30	1,34	8,37	49,60	4,54	28,38	50,58	5,25	32,81	50,53	4,40	27,50
15,49	48,33	1,37	8,56	49,73	4,67	29,19	50,74	5,41	33,81	50,61	4,48	28,00
16,43	48,24	1,28	8,00	50,06	5,00	31,25	50,86	5,53	34,56	50,89	4,76	29,75
17,32	48,34	1,38	8,63	50,08	5,02	31,38	51,07	5,74	35,88	50,98	4,85	30,31
18,44	48,49	1,53	9,56	50,26	5,20	32,50	51,13	5,80	36,25	51,07	4,94	30,88
19,75	48,43	1,47	9,19	50,45	5,39	33,69	51,45	6,12	38,25	51,22	5,09	31,81
37,95	49,34	2,38	14,88	50,59	5,53	34,56	51,68	6,35	39,69	53,25	7,12	44,50

Tabela 13- Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a argamassa APC

$t^{1/2}$ (min ^{1/2})	Provete											
	3 dias			7 dias			14 dias			28 dias		
	Massa provete (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa provete (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa provete (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa provete (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)
0,00	348,08	0,00	0,00	340,61	0,00	0,00	342,16	0,00	0,00	342,87	0,00	0,00
3,16	348,34	0,26	1,62	341,43	0,82	5,12	343,36	1,20	7,50	344,11	1,24	7,75
4,47	348,37	0,29	1,81	341,52	0,91	5,69	343,58	1,42	8,87	344,27	1,40	8,75
6,32	348,44	0,36	2,25	341,66	1,05	6,56	343,72	1,56	9,75	344,52	1,65	10,31
7,75	348,55	0,47	2,94	341,79	1,18	7,38	343,88	1,72	10,75	344,61	1,74	10,88
9,49	348,55	0,47	2,94	341,86	1,25	7,81	343,95	1,79	11,19	344,71	1,84	11,50
10,95	348,57	0,49	3,06	341,90	1,29	8,06	344,04	1,88	11,75	344,92	2,05	12,81
12,25	348,50	0,42	2,63	341,99	1,38	8,62	344,10	1,94	12,13	344,98	2,11	13,19
13,42	348,51	0,43	2,69	342,06	1,45	9,06	344,15	1,99	12,44	345,01	2,14	13,37
14,49	348,57	0,49	3,06	342,13	1,52	9,50	344,23	2,07	12,94	345,07	2,20	13,75
15,49	348,57	0,49	3,06	342,19	1,58	9,87	344,20	2,04	12,75	345,07	2,20	13,75
16,43	348,40	0,32	2,00	342,26	1,65	10,31	344,29	2,13	13,31	345,13	2,26	14,12
17,32	348,41	0,33	2,06	342,27	1,66	10,37	344,32	2,16	13,50	345,21	2,34	14,62
18,44	348,41	0,33	2,06	342,30	1,69	10,56	344,37	2,21	13,81	345,21	2,34	14,62
19,75	348,31	0,23	1,44	342,44	1,83	11,44	344,42	2,26	14,12	345,31	2,44	15,25
37,95	347,56	-0,52	-3,25	343,18	2,57	16,06	344,94	2,78	17,37	345,89	3,02	18,87

Tabela 14 -Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a Leca

t ^{1/2} (min)	Leca								
	N/Hidrofugada			3 dias 20%H			24h-20%H		
	Massa Leca (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa Leca (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa Leca (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)
0,00	304,56	0	0,00	351,65	0	0,00	335,40	0,00	0,00
3,16	308,29	3,73	5,86	352,78	1,13	1,78	336,20	0,80	1,26
4,47	309,23	4,67	7,34	352,82	1,17	1,84	336,33	0,93	1,46
6,32	310,29	5,73	9,01	352,94	1,29	2,03	336,51	1,11	1,74
7,75	311,08	6,52	10,25	352,97	1,32	2,07	336,34	0,94	1,48
9,49	311,85	7,29	11,46	353,01	1,36	2,14	336,50	1,10	1,73
10,95	312,58	8,02	12,61	353,14	1,49	2,34	336,37	0,97	1,52
12,25	313,23	8,67	13,63	353,18	1,53	2,41	336,50	1,10	1,73
13,42	313,93	9,37	14,73	353,18	1,53	2,41	336,56	1,16	1,82
14,49	314,48	9,92	15,59	353,22	1,57	2,47	336,46	1,06	1,67
15,49	315,08	10,52	16,54	353,23	1,58	2,48	336,70	1,30	2,04
16,43	315,41	10,85	17,06	353,26	1,61	2,53	336,52	1,12	1,76
17,32	315,95	11,39	17,90	353,29	1,64	2,58	336,56	1,16	1,82
18,44	316,48	11,92	18,74	353,29	1,64	2,58	336,58	1,18	1,85
19,75	317,30	12,74	20,03	353,39	1,74	2,74	336,59	1,19	1,87
20,98	317,89	13,33	20,95	353,59	1,94	3,05	336,56	1,16	1,82
37,95	324,05	19,49	30,64	353,47	1,82	2,86	336,30	0,90	1,41

Tabela 15- Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade para a Leca (continuação)

Leca								
24h10%H			7 dias-20%H			7 dias-70°C 20%H		
Massa Leca (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa Leca (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)	Massa Leca (g)	Água absorvida (g)	W _{absorvida} (g/dm ²)
356,26	0	0,00	349,95	0	0,00	349,47	0,00	0,00
356,65	0,39	0,61	350,09	0,14	0,22	349,97	0,50	0,79
356,82	0,56	0,88	350,17	0,22	0,35	350,1	0,63	0,99
356,99	0,73	1,15	350,3	0,35	0,55	350,35	0,88	1,38
357,01	0,75	1,18	350,51	0,56	0,88	350,42	0,95	1,49
357,18	0,92	1,45	350,49	0,54	0,85	350,41	0,94	1,48
357,19	0,93	1,46	350,56	0,61	0,96	350,59	1,12	1,76
357,16	0,9	1,41	350,64	0,69	1,08	350,81	1,34	2,11
357,17	0,91	1,43	350,74	0,79	1,24	350,52	1,05	1,65
357,17	0,91	1,43	351,03	1,08	1,70	350,52	1,05	1,65
357,23	0,97	1,52	350,5	0,55	0,86	350,45	0,98	1,54
357,23	0,97	1,52	350,61	0,66	1,04	350,55	1,08	1,70
357,18	0,92	1,45	350,76	0,81	1,27	350,57	1,10	1,73
357,15	0,89	1,40	350,67	0,72	1,13	350,68	1,21	1,90
357,13	0,87	1,37	350,68	0,73	1,15	350,67	1,20	1,89
-	-	-	-	-	-	-	-	-
356,43	0,17	0,27	350,74	0,79	1,24	350,97	1,50	2,36

Tabela 16- Resultados da percentagem de água absorvida pela Leca Intervalar A em cada fração

	Altura (cm)	Massa antes da secagem (g)	Massa depois da secagem (g)	Wi (%)	Massa de água absorvida (g)
1	2	11,28	9,48	15,96%	1,8
2	4	9,46	8,85	6,45%	0,61
3	6	10,43	10,33	0,96%	0,1
4	9	10,22	10,03	1,9%	0,19
5	12	9,36	9,26	1,07%	0,1
6	15	9,79	9,72	0,72%	0,07
7	24	9,9	9,9	0,000%	0

Tabela 17- Resultados da percentagem de água absorvida pela Leca Intervalar B-5 em cada fração

	Altura (cm)	Massa antes da secagem (g)	Massa depois da Secagem (g)	Wi (%)	Massa de água absorvida (g)
1	2	10,07	9,83	2,38%	0,24
2	4	10,07	9,91	1,59%	0,16
3	6	9,63	9,46	1,77%	0,17
4	9	10,21	10,1	1,08%	0,11
5	12	9,55	9,53	0,21%	0,02
6	15	9,24	9,21	0,30%	0,03
7	24	9,79	9,79	0,00%	0,00

Tabela 18- Resultados da secagem da Leca hidrofugada e não hidrofugada

t (min)	Wi (%)					
	Leca					
	N/Hidro	3 dias-20%H	24h-20%H	24h-10%H	7 dias-20%H	7 dias-20%H 70°C
0	6,40	0,51	0,27	0,05	0,23	0,43
60	5,03	0,13	-0,18	0,44	0,09	0,31
120	4,40	-0,09	-0,25	0,22	0,00	0,31
240	3,17	-0,13	-0,34	-0,04	-0,13	-0,27
360	2,29	-0,18	-0,40	-0,34	0,04	-0,32
480	1,72	-0,18	-0,44	-0,37	-0,20	-0,27
1440	-0,15	-0,28	-0,96	-0,82	-0,23	-0,28
2880	-1,08	-0,37	-1,02	-0,87	-0,51	-0,28

Tabela 19- Resultados da secagem das argamassas APT e APC

t (min)	Wi (%)							
	APT				APC			
	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
0	4,75	12,62	14,34	12,47	-0,15	0,75	0,81	0,87
60	3,81	11,58	13,43	11,00	-0,29	0,59	0,69	0,76
120	2,94	9,39	11,50	9,64	-0,42	0,46	0,59	0,62
240	1,37	7,55	10,13	7,68	-0,58	0,30	0,47	0,54
360	0,32	6,05	8,16	6,64	-0,69	0,21	0,36	0,41
480	-0,86	2,91	3,29	3,39	-0,77	0,15	0,30	0,40
1440	-2,58	2,47	2,93	3,11	-1,12	-0,01	0,15	0,31
2880	-3,66	2,15	2,58	0,84	-1,50	-0,02	0,15	0,32