

Comportamento de Produtos Hidrófugos em ETICS

Renata Nunes Roncon

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores:

Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Doutora Maria do Rosário da Silva Veiga

Júri

Presidente: Prof^a Maria Cristina De Oliveira Matos Silva

Orientador: Prof^a Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogal: Prof^a Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues

Janeiro de 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

A realização da presente dissertação não teria sido possível sem a ajuda e dedicação de algumas pessoas às quais queria deixar os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Inês Flores-Colen, minha orientadora do IST, pela oportunidade, por toda a disponibilidade, motivação e interesse em todo o trabalho. Assim como, por todo o aconselhamento durante a dissertação e rigor na sua revisão.

À Eng.^a Maria do Rosário Veiga, orientadora do LNEC, também pela oportunidade de desenvolver a campanha experimental nas instalações do LNEC, bem como pela ajuda prestada e revisão da dissertação.

Ao Doutor Giovanni Borsoi por todo o acompanhamento durante a campanha experimental no LNEC, disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e pela dedicação também na revisão dos capítulos.

Ao João Parracha também pelo apoio ao longo da campanha experimental.

À Ana Sofia Silva que me acompanhou desde o início da dissertação, pela companhia, apoio e conselhos.

E em especial à minha família por todo o apoio durante este percurso. Em particular, à minha irmã Rafaela Roncon que, para além de todo o apoio, ajudou-me e aconselhou-me na escrita. Ao Filipe Lopes que esteve sempre presente para me apoiar, ajudar e incentivar. E em especial também à minha amiga Anastasiya Zyenina que sempre me acompanhou com muita dedicação, dando motivação, apoio e conselhos.

Gostaria também de deixar o meu agradecimento ao projeto *WGB_Shield* (FCT / PTDC / ECI - EGC / 30681/2017) - financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e aos laboratórios onde foi desenvolvida a campanha experimental, nomeadamente, Laboratório do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos inserido no Departamento de Edifícios (DED/NRI) e Laboratório do Núcleo de Comportamento de Estruturas inserido no Departamento de Estruturas (DE/NCE) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Laboratório de Materiais Nanoestruturados e Nanotecnologias (NanoMatLab) e ao Laboratório de Microscopia Eletrónica (MicroLab) do Instituto Superior Técnico (IST). E ainda à empresa que disponibilizou os materiais estudados, Robbialac (Portugal).

Resumo

Os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) podem apresentar várias anomalias devido à sua exposição constante às intempéries. A água é em geral o principal agente de degradação, podendo desencadear degradação física-mecânica-química e ainda potenciar o desenvolvimento biológico. Por este motivo, a aplicação de revestimentos protetores com propriedades hidrofóbicas são soluções que permitem minimizar o aparecimento de anomalias e aumentar a durabilidade do sistema.

Nesta dissertação utilizaram-se três produtos comerciais (dois acrílicos e um siloxano) aplicados sobre ETICS, com a finalidade de avaliar a compatibilidade, eficácia e durabilidade desses produtos. O desempenho foi avaliado através de ensaios laboratoriais em amostras protegidas e não protegidas (absorção de água por capilaridade, absorção de água sob baixa pressão com tubos de *Karsten*, ângulo de contacto, secagem, permeabilidade ao vapor de água e suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores). Também a durabilidade dos revestimentos foi avaliada através de ensaios de envelhecimento artificial acelerado (ciclos calor-gelo e chuva-gelo).

Todas as proteções diminuíram a absorção de água (cerca de 35% do coeficiente de capilaridade), aumentaram até 123% a resistência à secagem e reduziram até 14% a permeabilidade ao vapor de água. Após envelhecimento, verificou-se que os produtos continuaram a apresentar eficácia e ainda melhoraram a permeabilidade ao vapor do sistema. Adicionalmente, verificou-se uma alteração do acabamento do ETICS (possível modificação da porosidade), devido aos ciclos de envelhecimento. Os valores do ângulo de contacto não se apresentaram lineares com a absorção de água, evidenciando a influência de outros fatores relacionados com a composição destes produtos.

Palavras-chave: ETICS; Proteção hidrofóbica; Hidrófugos; Formadores de película; Durabilidade.

Abstract

External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) can present several anomalies due to their constant exposure to weathering agents. Water is generally the major cause of degradation, since it can trigger physical-mechanical-chemical degradation and also enhance biological development. For this reason, the application of protective coatings with hydrophobic properties are solutions that can minimize the appearance of anomalies and increases the durability of the system.

In this thesis, three hydrophobic protection products (two based on acrylic and one based on siloxane) applied on ETICS were used, with the aim of assessing the compatibility, effectiveness and durability of these products. The moisture transport properties (water absorption by capillarity, water permeability under low pressure with Karsten pipes, drying kinetics, water vapor permeability, contact angle measurement) and susceptibility to mold development were assessed through laboratory tests on treated and untreated specimens. The durability of the treatments was also tested, through artificial aging tests (freeze-thaw and heat-cold cycles).

All protections decreased water absorption (about 35% of capillary coefficient), increased drying resistance by up to 123% and reduced water vapor permeability till 14%. After aging, it was found that the products continued to be effective and even improved the system's vapor permeability. Additionally, the ETICS systems underwent an alteration of the top coat (possible modification of the porosity), due to the aging cycles. No clear linear correlation was found among the contact angle values and water absorption results, evidencing the influence of other factors related to the composition of these products.

Keywords: ETICS; hydrophobic protection; Water-repellent; Film former; Durability.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e metodologia do estudo	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Hidrofobicidade em ETICS	5
2.1 ETICS	5
2.1.1 Características iniciais	5
2.1.2 Componentes constituintes do Sistema ETICS	6
2.1.3 Patologia relevante	9
2.2 Produtos hidrófugos como sistema de proteção	11
2.2.1 Aspetos gerais	11
2.2.2 Mecanismos de hidrófugação	12
2.2.3 Hidrófugos formadores de película	15
2.3 Síntese de estudos relacionados	16
3 Campanha experimental	21
3.1 Considerações gerais	21
3.2 Materiais utilizados	21
3.2.1 Sistema ETICS	21
3.2.2 Produtos hidrófugos	22
3.3 Aplicação dos produtos	23
3.3.1 Recomendações das fichas técnicas para a aplicação	23
3.3.2 Aplicação	24
3.4 Ensaio de caracterização inicial dos produtos e do sistema ETICS	25
3.4.1 Massa volúmica	25
3.4.2 Resíduo seco	26
3.4.3 Microscopia ótica	27
3.4.4 Microscopia eletrónica de varrimento	27
3.5 Ensaio para caracterização do desempenho dos produtos	27
3.5.1 Ensaio de desempenho inicial	27

3.5.2	Ensaio de desempenho após envelhecimento	35
3.6	Ensaio complementar – Microscopia ótica	36
3.7	Síntese do capítulo	37
4	Análise e discussão de resultados	39
4.1	Considerações iniciais	39
4.2	Caracterização inicial dos produtos e do sistema ETICS	39
4.2.1	Massa volúmica	39
4.2.2	Resíduo seco	39
4.2.3	Microscopia ótica	41
4.2.4	Microscopia eletrónica de varrimento	42
4.3	Caracterização do desempenho dos sistemas de proteção	46
4.3.1	Avaliação da proteção inicial	47
4.3.2	Avaliação da durabilidade dos sistemas de proteção	58
4.4	Correlações entre parâmetros	69
4.5	Conclusões do capítulo	72
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros	77
5.1	Conclusões	77
5.2	Desenvolvimentos futuros	79
	Referências	81
	Anexos	A
	Anexo I - Microfotografias da secção transversal do sistema ETICS utilizado com e sem proteção	B
	Anexo II – Resultados do ensaio de absorção por capilaridade	C
	I) Antes do envelhecimento	C
	II) Após envelhecimento.....	D
	Anexo III – Resultados do ensaio de secagem	E
	I) Antes do envelhecimento	E
	II) Após envelhecimento.....	F
	Anexo IV – Resultados do ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão - Tubos de <i>Karsten</i>	G
	I) Antes do envelhecimento	G
	II) Após envelhecimento.....	I
	Anexo V – Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água	K
	I) Antes do envelhecimento	K
	II) Após envelhecimento.....	M
	Anexo VI - Microfotografias Antes e Após envelhecimento artificial acelerado	O

Anexo VII – Microfotografias do ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de boloresS

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Composição esquemática de um sistema ETICS	7
Figura 2.2 - Afinidade de superfícies polares com a água; a) devido ao átomo de oxigénio; b) devido a grupos hidroxilas	13
Figura 2.3 - Interação entre a água e uma superfície hidrofóbica e uma superfície hidrofílica	13
Figura 2.4 - Mecanismos de hidrófugação de superfícies. a) Formadores de película; b) Bloqueadores de poros; c) Impregnações hidrofóbicas	14
Figura 3.1 - Aplicação das tintas na placa de ETICS de 0,25 m ²	25
Figura 3.2 - Copo graduado com 10 ml de produto.	26
Figura 3.3 - Prato de Petri com 10 ml de produto.	26
Figura 3.4 - Microscópio ótico e software de imagem.....	27
Figura 3.5 - a) Provetes selados com fita cola metálica; b) Provetes de ETICS imersos em água durante o ensaio de absorção de água por capilaridade	28
Figura 3.6 - Provetes durante o ensaio de secagem.	29
Figura 3.7 - Provetes durante o ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de Karsten.	31
Figura 3.8 - a) Equipamento utilizado para a medição do ângulo de contacto estático; b) Provette e micropipeta durante o ensaio.	32
Figura 3.9 - a) Provetes nos respetivos recipientes e selados hermeticamente; b) Provetes durante o ensaio de permeabilidade ao vapor de água.	33
Figura 3.10 - Provetes em frascos com meio de cultura adequado.	34
Figura 3.11 - a) Provetes selados para o ensaio de envelhecimento artificial acelerado; b) Arrefecimento dos provetes em arca frigorífica.....	36
Figura 3.12 - a) Aquecimento dos provetes através de radiação infra-vermelha; b) Aspersão da superfície dos provetes com água.	36
Figura 4.1 - Valores do solvente perdido e o respetivo teor de sólidos presente em cada produto em análise.	40
Figura 4.2 - Amostras do produto de proteção ao fim de 24 horas de ensaio. a) H1; b) H2 e c) H3. Os discos de petri utilizados apresentam um diâmetro variável de 72 a 90mm.	41
Figura 4.3 - Microfotografias do sistema ETICS estudado. a) camada de acabamento; b) Secção transversal do sistema; 1) camada de isolamento térmico (EPS); 2) camada de base; 3) camada de acabamento.	41
Figura 4.4 - Imagens de microscopia eletrónica de varrimento das superfícies em estudo. a) H0; b) H1; c) H2; d) H3; a seta em vermelho indica uma microfissura na amostra H2.	44
Figura 4.5 - Espectro EDS do sistema ETICS sem produto de proteção hidrofóbica (H0). As setas azuis indicam C, O, Na, Mg, Al, Si e Ca (por ordem da esquerda para a direita); a seta a vermelho indica o Ti.....	44
Figura 4.6 - Espectro EDS do sistema ETICS com H1 (dispersão aquosa 100% acrílica); as setas a azul indicam O, Mg, Al, Si e Ca (por ordem, da esquerda para a direita); a seta a verde indica C e a seta a vermelho indica Ti.....	45

Figura 4.7 - Espectro EDS de sistema ETICS com H2 (Tinta à base de resinas siloxânica); as setas a azul indicam O, Na e Al (por ordem, da esquerda para a direita); a seta a verde indica Si e a seta a vermelha indica Ti.	45
Figura 4.8 - Espectro EDS de sistema ETICS com H3 (dispersão aquosa 100% acrílica); as setas a azul indicam O, Mg, Al, Si e Ca (por ordem, da esquerda para a direita); a seta verde indica C e a seta vermelha Ti.	46
Figura 4.9 - Curvas de absorção de água por capilaridade.	47
Figura 4.10 - Valores médios dos coeficientes de capilaridade e relativos desvios padrões.	48
Figura 4.11 - Perda de água por secagem. a) em função do tempo; b) em função da raiz do tempo.	48
Figura 4.12 - Absorção de água sob baixa pressão – Tubos de Karsten.	50
Figura 4.13 - Coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio.	50
Figura 4.14 - Ângulos de contacto obtidos para o desempenho inicial.	52
Figura 4.15 - Microfotografias do ângulo de contacto nas superfícies estudadas; a) H0; b) H1; c) H2 e d) H3.	52
Figura 4.16 - Estrutura química do polidimetilsiloxano (PDMS).....	56
Figura 4.17 - Microfotografias das superfícies após envelhecimento artificial. a) H0 (sistema ETICS sem proteção), a seta a preto indica as partículas soltas; b) H1, as setas amarelas indicam microfissuras e micróporos; c) H2, a seta a vermelho indica as microfissuras; d) H3, a seta a azul indica um micróporo com microfissura.	59
Figura 4.18 - Comparação do coeficiente de capilaridade inicial e após envelhecimento artificial acelerado.	60
Figura 4.19 - Curvas de absorção de água por capilaridade iniciais (I), a tracejado, e após envelhecimento artificial acelerado (E), com linha contínua, dos sistemas com e sem produtos de proteção.	61
Figura 4.20 - Comparação do índice de secagem inicial e após envelhecimento artificial acelerado..	62
Figura 4.21 - Comparação do coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio inicial e após envelhecimento artificial acelerado.	63
Figura 4.22 - Absorção de água sob baixa pressão antes do envelhecimento (I), a tracejado, e após envelhecimento artificial acelerado (E), com linha contínua – Tubos de Karsten.	64
Figura 4.23 - Comparação do ângulo de contacto inicial e após envelhecimento artificial acelerado.	65
Figura 4.24 - Comparação do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água inicial e após envelhecimento artificial acelerado.	65
Figura 4.25 - Microfotografias da superfície sem proteção envelhecida com pequeno desenvolvimento de bolores, indicado pelas setas.	68
Figura 4.26 - Microfotografias das superfícies envelhecidas após o ensaio de desenvolvimento de bolores. a) H1; b) H2, com mancha de inóculo; c) H3, com mancha de inóculo.	68
Figura 4.27 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (Cc) e o coeficiente aos 60 min (C60) a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.	69
Figura 4.28 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (Cc) e a Taxa de secagem 1 (TS1); a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.	70

Figura 4.29 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (C_c) e a Taxa de secagem 2 (TS2); a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.	70
Figura 4.30 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (C_c) e o índice de secagem (Is) sem o valor relativo a H2; a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.	71
Figura 4.31 - Relação entre o índice de secagem (Is) e o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ); a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.	71
Figura 4.32 - Correlação entre o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ) e a taxa de secagem 2 (TS2), sem valores de H0; a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.	72

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Componentes do sistema ETICS estudado.....	22
Tabela 3.2 - Características dos produtos utilizados	23
Tabela 3.3 - Recomendações para as condições de aplicação de cada produto.	24
Tabela 3.4 - Consumos das aplicações realizadas.....	25
Tabela 3.5 - Classificação visual de crescimento de bolores de acordo com a norma ASTM D 5590-17.....	34
Tabela 3.6 - Ensaio e número de provetes ensaiados.....	37
Tabela 4.1 - Massas volúmicas medidas experimentalmente e indicada nas fichas técnicas de cada produto.....	39
Tabela 4.2 - Percentagens total de solvente perdido (SP) ao fim de 24h, 7dias e 14 dias.	40
Tabela 4.3 - Resíduo seco em g/L para cada produto de proteção hidrofóbica ensaiado.	40
Tabela 4.4 - Espessuras analisadas no microscópio do sistema ETICS em estudo.....	42
Tabela 4.5 - Espessuras médias e respetivo desvio padrão da película de proteção.....	42
Tabela 4.6 - Microfotografias da camada de acabamento de cada sistema de proteção e espessuras. 1) Camada de base do sistema ETICS; 2) Camada de acabamento; 3) Película de proteção hidrofóbica.	43
Tabela 4.7 - Resultados do ensaio de secagem inicial.....	49
Tabela 4.8 - Absorções com tubos de Karsten aos 60 min e 24h, coeficiente aos 60 min (C60) e respetivo desvio padrão.	51
Tabela 4.9 - Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água dos sistemas com e sem proteção.....	54
Tabela 4.10 - Resultados de μ do ensaio de permeabilidade ao vapor de água do isolante térmico (EPS) e Sd das camadas de acabamento.	55
Tabela 4.11 - Classificação visual de crescimento de bolores nas superfícies dos provetes.	57
Tabela 4.12 - Resultados obtidos através do ensaio de secagem inicial e após envelhecimento acelerado.....	62
Tabela 4.13 - Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água após envelhecimento.	66
Tabela 4.14 - Classificação visual de crescimento de bolores nas superfícies dos provetes.	67
Tabela 4.15 - Síntese dos resultados obtidos na campanha experimental antes e após envelhecimento artificial acelerado.	74
Tabela 4.16 - Variações em percentagem que cada produto provocou no sistema ETICS. Código de cores: verde – Melhoria no sistema ETICS; Laranja – Piorou moderadamente, com uma variação negativa até 30 %; Vermelho - Piorou consideravelmente, com uma variação negativa > 30%.....	75

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A crescente consciencialização da humanidade sobre os consumos energéticos e proteção ambiental tem guiado a maior parte dos setores produtivos a procurar soluções mais sustentáveis. Não sendo exceção, nas últimas décadas a indústria da construção enfrenta um crescente interesse pela eficiência energética associado ao desempenho térmico do edifício, verificado também por novas regras impostas pela EU [1]. Neste contexto, várias soluções de isolamento térmico surgiram para contribuir para a obtenção de fachadas mais eficientes [2], uma vez que a envolvente é a fração que apresenta maiores perdas de calor com o exterior.

Os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) são uma das soluções que mais se destaca pelas suas numerosas vantagens. Entre as quais se evidencia o aumento do isolamento térmico, a correção das pontes térmicas, a redução das condensações no interior, a proteção das alvenarias e elementos estruturais dos agentes atmosféricos, permitindo uma maior durabilidade dos mesmos, e a sua fácil aplicação [3]. Tanto pela regulamentação existente sobre a eficiência energética do edificado, bem como pelas suas vantagens em comparação às restantes soluções, a utilização dos sistemas ETICS tem aumentado nas últimas décadas em construções novas bem como na reabilitação do ambiente construído.

Contudo, algumas anomalias superficiais (manchas, fissuração, colonização biológica, etc.) podem aparecer ao longo da vida útil do ETICS, comprometendo a sua eficiência energética e durabilidade.

Sendo o sistema ETICS aplicado no exterior, este está constantemente sujeitos às condições atmosféricas, mais particularmente aos efeitos da humidade incidente. De facto, o principal agente de degradação, responsável pelo aparecimento de um grande número de anomalias dos materiais de construção é a água, estando envolvida em processos de deterioração física-mecânica-química [4] e ainda associada a outras anomalias como a biocolonização [5]. Por esta razão, a utilização de revestimentos que impeçam a absorção de humidade e limitem a molhabilidade da superfície são uma medida de proteção que pode melhorar a vida útil dos ETICS, permitindo manter a eficiência energética do edificado construído.

Os hidrófugos de superfícies são os produtos de proteção à água mais utilizados atualmente, existindo no mercado uma vasta gama de produtos, com várias composições químicas e com mecanismos de atuação distintos.

A eficácia do produto hidrófugo depende não apenas das suas propriedades químicas, mas também do substrato onde é aplicado [6, 7]. A compreensão dos efeitos da aplicação de um produto de proteção hidrófugo é uma tarefa importante para a otimização do seu desempenho; além disso, estes produtos, quando aplicados sobre um determinado suporte, podem causar alguns impactos negativos, como a redução da permeabilidade ao vapor de água e a alteração da cinética de secagem dos materiais, que contribuem para o processo de degradação [8].

Também a durabilidade do tratamento, a eficácia a longo prazo, é outro aspeto importante na seleção do sistema de proteção. Contudo, este parâmetro é difícil de determinar tendo em conta que pode ser afetado por inúmeros fatores, nomeadamente, por agentes atmosféricos, radiação ultravioleta, condições extremas de pH ou poluentes, entre outros [6, 4].

Deste modo, o estudo do desempenho de um hidrófugo visa avaliar a sua eficácia (com ensaios de absorção de água), compatibilidade com o próprio sistema (com ensaios de secagem e permeabilidade ao vapor), e durabilidade a longo prazo (com ensaios de envelhecimento artificial acelerado).

Diversos estudos foram realizados em pedra, betão e materiais cerâmicos, sendo inferiores os realizados em argamassas e ETICS. De entre os estudos realizados, são poucos os que avaliam o desempenho de produtos formadores de películas (tintas e vernizes), sendo o maior foco as impregnações hidrofóbicas, e incidindo em avaliações de desempenho inicial.

Neste contexto, a presente dissertação pretende contribuir para o conhecimento deste tipo de produtos de proteção hidrofóbica aplicados em sistemas ETICS, com o intuito de aumentar a sua durabilidade, minimizando o surgimento de anomalias e otimizando o seu desempenho térmico.

1.2 Objetivos e metodologia do estudo

A presente dissertação tem como finalidade aumentar o conhecimento relativo a soluções de proteção superficial, particularmente aos efeitos da água, que visem aumentar a durabilidade de sistema ETICS em meio urbano. Para tal, o principal objetivo é avaliar experimentalmente o desempenho de três tintas comerciais aplicadas como sistema hidrofóbico num sistema ETICS em estado novo. Com o intuito de atingir o objetivo principal, foi estabelecida a seguinte metodologia:

- Caracterizar o desempenho dos três produtos de proteção aplicados no sistema ETICS em relação às suas propriedades de proteção à água (através de ensaio de absorção de água por capilaridade, absorção de água sob baixa pressão com tubos de *Karsten* e hidrorrepelência obtida pelo ângulo de contacto), influência na cinética de secagem do sistema, bem como na permeabilidade ao vapor de água e suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores;
- Caracterizar o desempenho dos três produtos de proteção aplicados no sistema após ciclos de envelhecimento artificial (ciclos higrotérmicos), em relação às propriedades mencionadas no ponto anterior, de forma a analisar o seu desempenho a longo prazo;
- Fazer uma análise comparativa entre os produtos estudados e analisar se são soluções adequadas para a proteção do sistema ETICS.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, aos quais se seguem as referências bibliográficas e os anexos.

O primeiro capítulo consiste no enquadramento do tema da dissertação, referindo o seu interesse e importância para o aumento da durabilidade da solução térmica (sistema ETICS), contribuindo para

uma maior eficiência energética do edificado. Também neste capítulo são apresentados os objetivos do estudo.

O segundo capítulo destina-se à apresentação do sistema ETICS, da patologia relevante associada ao mesmo (particularmente relativa à humidade superficial) e do conhecimento de hidrófugos de superfície como produtos de proteção.

O terceiro capítulo resume-se à apresentação e descrição da metodologia de trabalho adotada para a campanha experimental realizada no Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Departamento de Edifícios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. São apresentados os materiais utilizados e descritos sucintamente os procedimentos adotados, de forma a analisar o desempenho inicial e a longo prazo dos produtos de proteção aplicados.

O quarto capítulo dedica-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos para a caracterização do desempenho, inicial e a longo prazo, dos produtos de proteção aplicados no sistema ETICS.

O quinto capítulo, inclui as principais conclusões retiradas do estudo experimental e algumas recomendações para desenvolvimentos futuros com o intuito de aumentar o conhecimento da utilização de produtos de proteção hidrofóbica como tintas em sistemas ETICS.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas no decorrer da realização da presente dissertação e os anexos, onde são apresentadas algumas microfotografias das superfícies analisadas ao longo da campanha experimental e os resultados individuais para cada ensaio realizado.

2 Hidrofobicidade em ETICS

2.1 ETICS

2.1.1 Características iniciais

O interesse pelo consumo energético e pela proteção ambiental aumentou sensivelmente nas últimas duas décadas, como aferido no Protocolo de Quioto (1997) [9] e mais recentemente no Acordo de Paris (2015) [10]. Esta preocupação refletiu-se também na indústria da construção, nomeadamente na procura constante por soluções construtivas sustentáveis, cada vez mais necessárias em construções novas bem como na reabilitação do ambiente construído.

Neste contexto, em termos energéticos a envolvente dos edifícios é a fração que apresenta maiores perdas de calor com o exterior. Portanto, a alteração da sua constituição pode ter um grande impacto tanto na poupança de energia como no conforto térmico interior [2, 3].

O uso de sistemas ETICS – Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior com revestimento aplicado sobre o isolante térmico (*External Thermal Insulation Composite Systems*) – veio contribuir para a obtenção de fachadas de elevado desempenho térmico, sendo uma das soluções mais eficientes para esse efeito.

Este sistema é uma solução de isolamento térmico aplicada em paramentos exteriores de paredes. Esta solução é constituída por diversas camadas sobrepostas com uma ordem específica, onde cada componente tem características e funções próprias, que permitem obter um sistema eficiente e com qualidade [3, 11]. Desta forma, a compatibilidade entre todos os componentes do sistema ETICS é um parâmetro crucial para potenciar o seu desempenho e durabilidade [12].

Em Portugal, a utilização dos ETICS começou no início da década de 90, justificada pela entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), e também apoiada pelas numerosas vantagens que este sistema apresenta comparativamente às restantes soluções de isolamento (p.ex. soluções de isolamento térmico aplicado pelo interior das paredes da envolvente, inseridos no interior da caixa de ar entre panos de alvenarias duplas ou ainda inserido nas próprias paredes, como a utilização de blocos com características térmicas ou geométricas melhoradas) [2].

Uma das principais vantagens apresentada pelo ETICS é a correção das pontes térmicas e consequentemente a redução das condensações no interior e a redução dos gastos energéticos, uma vez que é assegurada a continuidade do isolamento térmico em toda a envolvente do edifício [3].

Outras vantagens é o aumento da inércia térmica interior dos edifícios, que permite uma melhor regulação da temperatura interior, a proteção das alvenarias e elementos estruturais dos agentes atmosféricos, permitindo uma maior durabilidade dos mesmos. O sistema ETICS constitui também uma solução construtiva que permite reduzir a espessura das paredes, sendo por vezes apenas necessário um pano simples, e geralmente melhora a impermeabilidade dos suportes. Este sistema permite ainda uma grande liberdade na escolha do acabamento, em particular, acabamentos de aspeto tradicional

[2]. De uma forma geral o sistema ETICS é de fácil aplicação, no entanto em caso de reabilitação, apesar de apresentar a vantagem de não diminuir a área útil interior nem ser necessário o desalojamento para a sua aplicação [3], a sua aplicação apresenta algumas restrições e condicionamentos, como o recorte dos vãos de janelas e portas que têm de sofrer alterações.

Para além das vantagens económicas e a nível de conforto, a solução proporciona a proteção do meio ambiente, reduzindo as necessidades energéticas dos edifícios e a pegada de carbono provocada pela utilização de equipamento de aquecimento e arrefecimento [3, 13, 14].

No entanto, o sistema apresenta igualmente algumas desvantagens associadas à sua constituição, nomeadamente vulnerabilidade aos impactos (em particular perfuração), suscetibilidade ao crescimento de microrganismos e à fendilhação, devido a variações higrótérmicas, que podem comprometer a durabilidade e eficiência do sistema [15]. Os ETICS são ainda sensíveis a uma inadequada aplicação e/ou reparação, podendo resultar em posteriores anomalias, sendo sempre necessária mão de obra especializada para a sua aplicação e manutenção [3].

Em 2000, surgiu por parte da EOTA (*European Organization for Technical Approvals*), o ETAG 004 (*Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*), um guia técnico para sistemas compósitos do tipo ETICS. O ETAG 004 impõe os requisitos essenciais que o sistema tem de possuir e os métodos de ensaio para a sua homologação na União Europeia [16]. De acordo com este guia [17], os sistemas devem possuir no mínimo uma vida útil de 25 anos, sendo, portanto necessário projetar e realizar uma manutenção dos mesmos considerando todos os fatores ambientais e antrópicos característicos do local onde o ETICS está inserido.

A regulamentação existente, a exigência ao nível do conforto térmico por parte dos utilizadores, a entrada de documentação técnica específica, bem como o facto de ser uma solução eficiente, de relativamente baixo custo e de fácil aplicação, potenciou a utilização do sistema ETICS tanto em reabilitação de edifícios como em construções novas [5, 13]. Neste âmbito, a otimização do desempenho energético dos ETICS e o aumento da sua vida útil pode ser conseguida adotando sistemas de proteção. Para tal é necessário conhecer primeiramente a constituição dos ETICS e os fatores que incrementam a sua degradação.

2.1.2 Componentes constituintes do Sistema ETICS

Antes de caracterizar os vários componentes do sistema é importante referir alguma informação relativa ao suporte onde este será aplicado. Os suportes destinados à aplicação do sistema podem ser constituídos por paredes de alvenaria de pedra, tijolo cerâmico, blocos de betão ou blocos de betão celular, por paredes de alvenaria rebocada ou de betão de inertes correntes ou leves, betonadas em situ ou pré-fabricadas [3, 18]. Os substratos devem ter resistência mecânica, não apresentar irregularidades de planimetria e exibir superfícies consolidadas e isentas de sujidade, gorduras ou vestígios de outros resíduos que possam afetar a fixação do isolamento térmico [3]. Caso o suporte não seja regular pode ser aplicado um reboco de regularização antes da aplicação do sistema ETICS. Contudo, a aplicação do sistema ETICS não é recomendada em alguns casos específicos, particularmente nos casos de reabilitação de fachadas de edifícios antigos, com suportes muito

espessos e porosos que apresentem humidade no seu interior; de facto, neste caso o sistema pode reduzir significativamente a capacidade de evaporação da água existente na parede, originando ou acelerando processos de degradação. A impossibilidade de alteração do aspeto da fachada de um edifício constitui também uma limitação da aplicação do sistema, uma vez que este será aplicado no exterior [15, 16].

Posto isto, o sistema ETICS, como mencionado, é composto por diversas camadas, nomeadamente um isolamento térmico pré-fabricado aplicado diretamente sobre o suporte, uma camada de base com uma malha de reforço e uma camada de acabamento (Figura 2.1). Esta solução pode ser constituída por uma grande variedade de materiais, desde o tipo de isolamento térmico, o tipo de ligante mineral utilizado na argamassa constituinte da camada de base (cimento, cal aérea ou hidráulica) e nos seus aditivos, bem como nos acabamentos, que podem ser por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE) ou revestimentos minerais, de silicatos ou de cimento. Existe também a possibilidade de serem utilizados revestimentos descontínuos, de ladrilhos cerâmicos, placas de pedra ou de outra natureza [16]. Sendo por isso, a compatibilidade entre os diversos materiais adotados um parâmetro fundamental para atingir um bom desempenho global.

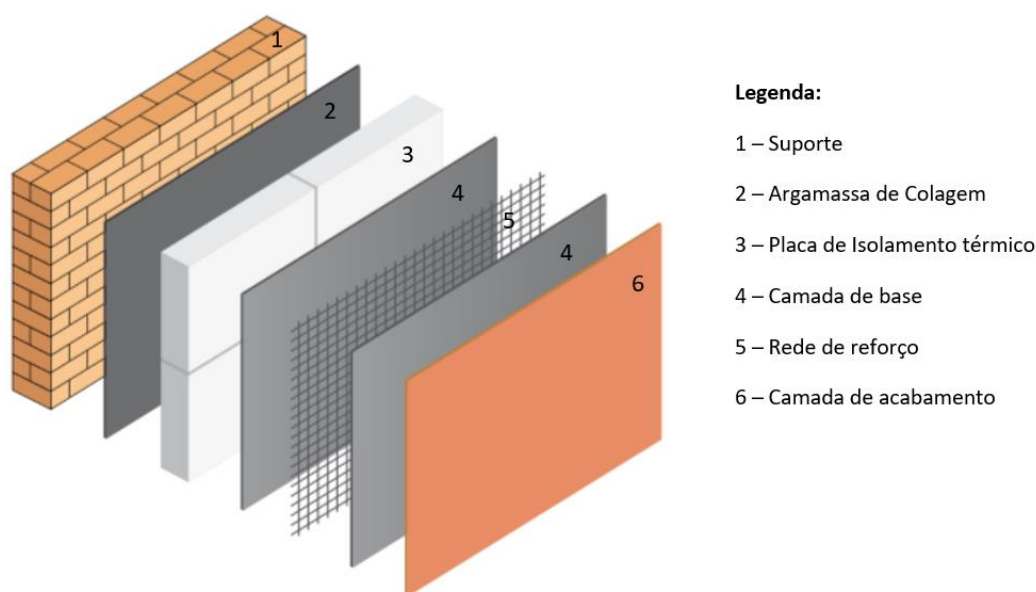


Figura 2.1 - Composição esquemática de um sistema ETICS (Adaptado de [19]).

O isolamento térmico é o componente do sistema ETICS que permite a redução das trocas de calor através da fachada onde está inserido. É um produto pré-fabricado, com uma espessura entre 40 e 100 mm (conforme as exigências térmicas), aplicado em placas de forma a conferir uma envolvente contínua. Os materiais de isolamento térmico possíveis são Poliestireno Expandido (EPS), Poliestireno Extrudido (XPS), Lã mineral (MW) e Aglomerado de Cortiça expandida (ICB) [15, 16]. A escolha de placas de MW ou ICB permitem, para além de contribuírem para o isolamento térmico, melhorar o desempenho acústico do edifício [3]. Em Portugal, os materiais mais correntemente utilizados são o EPS e o XPS, e menos frequentemente o ICB, com espessuras entre 40 mm a 60 mm [15, 16].

As placas de isolamento térmico podem ser coladas ao suporte e/ou fixadas mecanicamente. Quando o sistema é colado, que é a situação mais frequente, a argamassa de colagem é em geral a mesma que a argamassa de revestimento para a camada de base [3, 15]. A fixação mecânica, geralmente adotada quando o suporte ou o isolamento não conferem boas condições de aderência, pode ser feita por ancoragens diretas ou através de perfis metálicos ancorados ao suporte, onde as placas de isolamento encaixam [15].

A camada de base é constituída por uma argamassa, frequentemente de base cimentícia modificada com resinas sintéticas. No entanto, a procura de materiais mais sustentáveis por parte dos fabricantes tem sido crescente, surgindo no mercado soluções com argamassas à base de cal [11]. A argamassa é aplicada por barramento sobre a placa de isolamento, em duas subcamadas de reduzida espessura, e é reforçada com uma armadura embutida na argamassa fresca, entre subcamadas [2, 15].

A armadura é geralmente uma rede de fibra de vidro. No entanto, no ETAG 004 estão previstos também outros materiais, como malhas soldadas de aço galvanizado e malhas plásticas [17, 18]. A rede ou malha, que resiste a pH altamente básicos, é introduzida com o intuito de melhorar a resistência à fendilhação do revestimento, uma vez que esta camada é bastante solicitada pelas variações térmicas, bem como melhorar a resistência aos impactos e assegurar a continuidade do sistema. Nas áreas do sistema que se localizem em zonas acessíveis, zonas das paredes junto a pavimentos de circulação, é recomendado uma armadura reforçada, de forma a aumentar a resistência aos choques [2], aumentando-se assim as subcamadas da camada de base.

Além disso, a camada de base deve apresentar uma boa aderência ao isolamento e baixo módulo de elasticidade, para poder acompanhar as deformações do isolamento térmico [12]. Esta camada tem como papel fundamental proteger a entrada de água no isolamento, evitando a perda das propriedades térmicas do mesmo, proporcionar resistência mecânica à perfuração e aos choques e resistência à fendilhação [2, 11, 20].

O revestimento final assegura o aspeto decorativo e a proteção do sistema contra as intempéries, complementando a barreira de proteção à água sem afetar negativamente a permeabilidade ao vapor de água do sistema [15]. O revestimento deve ainda apresentar algumas características de resistência ao desenvolvimento de microrganismos, à radiação solar, deve ser flexível e resistente aos agentes atmosféricos [2, 15]. Como mencionado, esta camada final possibilita a aplicação de diversos acabamentos. No entanto, o revestimento por pintura especial ou o plástico espesso (RPE) de ligante sintético são os mais frequentes [2, 15].

Nos casos em que é necessário uma melhor compatibilidade e aderência da camada de base à superfície de revestimento final, é possível a utilização de um primário à base de resinas ou polímeros sintéticos em solução aquosa [17, 21].

A fim de o sistema ETICS funcionar todo de forma contínua, para que seja mantida a continuidade térmica, é necessário a utilização de diversos acessórios. De forma resumida os acessórios utilizados são perfis metálicos, geralmente de alumínio, para reforço das extremidades do sistema, e acessórios de elementos para juntas, responsáveis por absorver os deslocamentos diferenciais impostos e conferir

proteção contra a entrada de água nessas zonas [2, 20]. Estes acessórios devem ser colocados em pontos singulares que comprometam a continuidade, nomeadamente cantos salientes ou reentrantes, ligações com elementos construtivos, zonas de juntas entre placas, juntas de dilatação, entre outros. Os acessórios também têm como função a proteção do sistema, adquirindo com a sua utilização um reforço em zonas específicas [18].

2.1.3 Patologia relevante

Os sistemas ETICS, sendo aplicados no exterior, estão sujeitos às condições atmosféricas e ações exteriores, particularmente à ação da água, que leva ao desenvolvimento de várias anomalias que comprometem a sua eficiência energética e durabilidade [22].

Os principais tipos de humidade que afetam a durabilidade do sistema são de precipitação e de condensação superficial [22]. O sistema ETICS é particularmente suscetível ao desenvolvimento de condensações superficiais. Estas ocorrem, geralmente no período noturno, sempre que a temperatura superficial é inferior à temperatura do ponto de orvalho, que resulta na transição do vapor de água existente na superfície para a fase líquida. A superfície, devido à sua rugosidade, bem como à elevada absorção dos materiais de acabamento, tende a manter-se húmida durante algum tempo, levando ao desenvolvimento de inúmeras anomalias, particularmente manifestação de manchas e alteração da cor [5, 23, 24, 25].

O desenvolvimento biológico resulta em consequência das condensações superficiais e dos consequentes ciclos repetidos de absorção e secagem da água [5]. Outros fatores como a ação do vento, que proporciona a fixação da sujidade e de substâncias nutritivas, a rugosidade da superfície de acabamento, a radiação solar incidente e a vegetação existente no ambiente envolvente, favorecem o crescimento biológico [21, 26]. Geralmente, este problema afeta apenas as propriedades estéticas do edifício, devido ao aparecimento de manchas e alteração de cor, não tendo efeitos no desempenho térmico e mecânico do sistema. No entanto, consoante o tipo de organismos presente, pode ocorrer a deterioração do revestimento quer pela sua simples presença, quer pelo ataque dos mesmos ou dos produtos químicos que expelem, levando a fissuras e destacamento que incrementa a degradação do sistema [5, 27, 28]. Neste contexto de crescimento biológico, pode também desenvolver-se o crescimento de vegetação parasitária, que se origina pelos mesmos fatores; as micro raízes das parasitárias podem introduzir-se no reboco, provocando pequenas fissuras, e assim constituir um ponto de acesso à água exterior e contribuir para a redução da vida útil do sistema.

Outras anomalias referentes à manifestação de manchas causadas pelos efeitos da humidade superficial são as eflorescências e as manchas de escorrência.

As eflorescências resultam da cristalização de sais à superfície do revestimento, que se encontravam dissolvidos na água absorvida e posteriormente evaporada, causando uma mancha de aparência cristalina, geralmente de cor branca. A radiação solar também é um fator importante para a evaporação da humidade existente à superfície, tendo, desta forma, a orientação da fachada influência significativa no desenvolvimento desta anomalia [25]. Um caso particular de eflorescências, são as manchas de carbonatação que resultam da cristalização da cal presente nos materiais da camada de base ou até

mesmo que se encontra na poluição do ambiente. Este fenómeno, num estágio inicial danifica apenas a estética do sistema, contudo, a sua permanência no revestimento em conjunto com a presença de água (possíveis fenómenos de dissolução-recristalização), podem potenciar o agravamento de anomalias e conseqüente deterioração do material do revestimento, constituindo desta forma um problema que afeta a vida útil do ETICS [27, 29].

As manchas de escorrência ocorrem em zonas específicas da fachada onde existe passagem preferencial da água, geralmente, da precipitação incidente. Constituem manchas escuras, devido à acumulação de sujidade, e resultam da deficiente pormenorização construtiva, como a incorreta ou inexistente utilização de elementos como peitoris, tubos de queda, caleiras, entre outros. São ainda observadas manchas de oxidação, que derivam de elementos metálicos presentes na fachada que sob a ação do oxigénio e da água corrente oxidam, formando manchas de cor ferrosa [21, 27].

O humedecimento prolongado da camada de base é uma outra anomalia que deriva da ação da água superficial. Este humedecimento das camadas interiores pode ocorrer quando os materiais utilizados são muito porosos e permeáveis, ou quando manifestam fissuração, permitindo a entrada de água [11]. A existência desta humidade na camada de base é bastante prejudicial ao sistema porque pode levar à perda da funcionalidade térmica, uma vez que a humidade altera significativamente a condutibilidade térmica dos materiais [22], e ainda acelera o processo de degradação de todo o sistema, como a perda de adesão e destacamento do revestimento [11].

Desta forma, a água, sob as suas diferentes formas físicas e através de diferentes mecanismos, é um dos principais agentes de degradação do sistema ETICS, condicionando a sua durabilidade [30]. O revestimento de acabamento é o elemento com maior responsabilidade no que diz respeito à impermeabilização do sistema ETICS e, portanto, o seu desempenho na presença de humidade e a sua capacidade efetiva de reduzir a absorção de água são extremamente condicionantes para a vida útil do sistema, sendo, neste sentido, a melhoria das suas características o foco desta dissertação através de mecanismos de proteção.

No entanto, é evidente que o sistema apresenta outras anomalias associadas a causas distintas. É recorrente o aparecimento de anomalias referentes a erros de conceção e aplicação, como falta de planeza, fissuração, visualização de juntas, destacamento e empolamento do reboco ou do revestimento final, descolagem generalizada ou parcial do sistema, e outros, onde a sua causa consiste na utilização de produtos ou espessuras incorretas, má pormenorização, falta de acessórios, etc. [13, 31]. Por esta razão, é fundamental a aplicação realizada por equipas especializadas e que tenham conhecimento técnico, de forma a minimizar este tipo de anomalias.

Existe ainda a observação de outras anomalias que as causas são intrínsecas ao sistema ETICS, como a reduzida resistência ao impacto e a sua acessibilidade ao exterior, que levam ao aparecimento de roturas localizadas, perda de constituintes do sistema, alteração de cor e possível vandalização (graffiti). Estas anomalias, para além de danificarem a aparência do edifício, podem originar, à exceção do graffiti e da alteração de cor, pontos vulneráveis à entrada de água e comprometer a vida útil do sistema [13, 26, 27].

Em síntese, é necessário um conjunto de ações que visem otimizar o desempenho do sistema ETICS e aumentar a sua durabilidade, como, uma correta conceção e aplicação, a utilização de materiais de qualidade e compatíveis, a proteção do sistema contra as ações exteriores complementada com a prática de uma manutenção periódica e cuidada.

2.2 Produtos hidrófugos como sistema de proteção

2.2.1 Aspetos gerais

A procura por materiais que protegessem a envolvente das habitações dos efeitos da água incidente, remota a antiguidade. Materiais como óleos, ceras, tintas e resinas naturais eram aplicados sobre as superfícies exteriores porosas com o objetivo de impedir a absorção de água e conseqüentemente aumentar a durabilidade das construções [32]. No entanto, nas últimas décadas tem-se aferido a um desenvolvimento de produtos sintéticos, com diferentes constituintes e modos de atuação que alegam elevados níveis de eficácia, durabilidade e características físicas e químicas estáveis.

Neste contexto, os hidrófugos têm sido os produtos mais utilizados como proteção superficial, com o intuito de melhorar as características dos materiais porosos existentes no exterior dos edifícios. A aplicação destes produtos reduz o aparecimento de diversas anomalias associadas à presença de água na superfície, como o desenvolvimento da colonização biológica, a deposição de poeiras e poluentes atmosféricos, entre outras, prevenindo a degradação do sistema e minimizando as ações de manutenção [32, 33].

Entende-se como produto hidrófugo todo aquele que apresenta propriedades de repelência à água líquida, conferindo uma redução da capacidade de molhagem dos materiais onde são aplicados.

No mercado atual, existem dois grupos principais que distinguem os produtos hidrófugos: hidrófugos de superfície e de massa. Os primeiros criam uma camada hidrofóbica na superfície do material a tratar, como argamassas e betões endurecidos, pedra ou materiais cerâmicos, enquanto os segundos são utilizados como adjuvantes em materiais compostos, isto é, materiais como o betão e argamassas, dando origem a misturas hidrófugas [34]. Contudo, no presente estudo, apenas se estudará a aplicação de hidrófugos de superfície.

O principal objetivo da aplicação de um hidrófugo de superfície é inibir a absorção da água superficial no material poroso e isto é conseguido através da alteração das características superficiais do material. No entanto, a aplicação deste tipo de produto pode levar a alguns efeitos prejudiciais e irreversíveis, nomeadamente, a redução da permeabilidade ao vapor de água e a alteração das condições de secagem do material que, conseqüentemente, aceleram o processo de degradação, sendo fundamental avaliar a sua nocividade no suporte pretendido [7, 8].

Sendo os hidrófugos de superfície produtos aplicados no exterior dos edifícios, estes estão sujeitos a diversas ações físicas e químicas que levam à sua degradação e conseqüentemente à perda da sua eficácia. Estimar a sua vida útil é uma tarefa complexa, uma vez que a sua ação inicial e ao longo do tempo depende de diversos fatores, tais como, da sua constituição química, do substrato onde será aplicado, das condições da superfície, das condições atmosféricas de exposição (ação da radiação

solar, chuva, poluentes atmosféricos, variação de temperaturas), bem como do modo de aplicação do produto, quantidade aplicada, profundidade de penetração e condições ambientais no momento da aplicação [4, 6, 35, 36].

Na seleção do tipo de produto a utilizar, tendo em conta o suporte, existem certos requisitos que os produtos hidrófugos devem satisfazer de modo a obter um desempenho inicial e a longo prazo favoráveis. Os principais requisitos são [4, 8, 35, 37, 38, 39]:

- Minimizar a absorção de água do material;
- Não reduzir a permeabilidade ao vapor de água;
- Não influenciar negativamente a cinética de secagem do material;
- Apresentar estabilidade aos agentes químicos e à radiação UV;
- Não favorecer a formação de eflorescências;
- Reduzir o desenvolvimento biológico;
- Reduzir a deposição de poeiras;
- Ter compatibilidade ambiental (sem presença na sua composição de solventes);
- Ser de fácil aplicação;
- Apresentar capacidade de reversibilidade após perda de eficácia;

Desta forma, é fundamental a realização de um estudo prévio que incida em 3 aspetos fundamentais: o grau de nocividade, a eficácia inicial e a durabilidade do tratamento protetor. Para isso é indispensável o conhecimento sobre as propriedades do material a tratar, as propriedades do próprio produto de proteção e a ação das condições ambientais [40].

2.2.2 Mecanismos de hidrófugação

A grande maioria dos materiais utilizados na construção são materiais porosos, ou seja, contêm vazios (poros) no seu interior e estes comunicam entre si através de canais formando uma rede capilar. Neste tipo de materiais, a absorção e o transporte da água líquida é maioritariamente realizado por capilaridade, que ocorre quando as forças de coesão da água são mais fracas que as forças de adesão entre a água e o material sólido, originando a progressão da água no interior da rede capilar [8, 30, 37].

As forças de coesão (forças de tensão superficial) num líquido, são forças de atração que incidem nas moléculas superficiais e as atraem para o interior do líquido, resultando na tendência de o conjunto adquirir a forma esférica e ocorrem na interface líquido - gás, neste caso água - ar [40, 41]. As forças de adesão ocorrem quando o líquido está em contacto com um sólido (interface líquido-sólido) e resultam da atração entre as diferentes moléculas, isto é, da afinidade entre a molécula da água e as moléculas dos poros dos materiais [30].

Em geral, as superfícies dos materiais inorgânicos não metálicos presentes na construção possuem uma estrutura molecular polar, isto é, apresentam polos elétricos devido a átomos de oxigénio (com carga negativa) ou a grupos hidroxilas (OH⁻) (com carga negativa na extremidade do átomo de oxigénio e carga positiva na do átomo de hidrogénio) [41], como representado na Figura 2.2. Sendo a água uma molécula também de natureza polar, existe afinidade entre as superfícies polares e a molécula de água.

Esta afinidade, entre materiais da mesma natureza, resulta de as cargas negativas atraírem as cargas positivas formando ligações -O-H- [41, 42] (Figura 2.2).

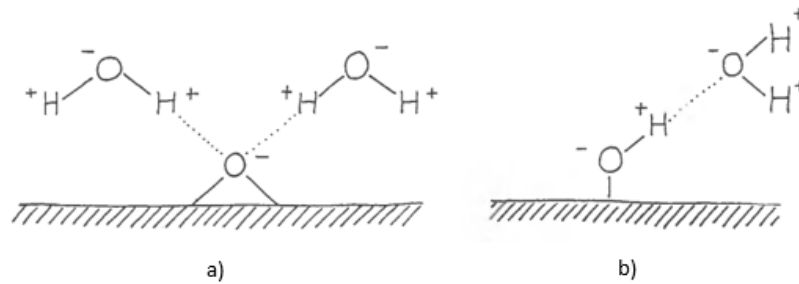


Figura 2.2 - Afinidade de superfícies polares com a água; a) devido ao átomo de oxigênio; b) devido a grupos hidroxilas (Adaptado de [41]).

As superfícies podem ser classificadas em hidrofílicas ou hidrofóbicas em função da sua aptidão de molhagem. Superfícies hidrofílicas exibem uma alta afinidade com a molécula de água resultando no espalhamento da água líquida e conseqüentemente na sua absorção. As superfícies hidrofóbicas apresentam uma fraca afinidade com a água, isto é, as ligações de hidrogênio não são favorecidas, uma vez que as superfícies são constituídas essencialmente por moléculas apolares, incapazes de formar ligações de hidrogênio com a água, resultando em forças de atração líquido-sólido inferiores às forças de coesão do líquido [8, 41].

Uma propriedade relevante para esta classificação e para a avaliação do grau de hidrofobicidade é o ângulo de contacto. Este ângulo é definido pela superfície sólida e pela tangente à superfície do líquido que passa pelo ponto de contacto [8]. Por definição, uma superfície é hidrofóbica (não molhante) se o ângulo de contacto for superior a 90° , visto que a água não se espalha na superfície e tende a adquirir uma forma mais esférica. Caso o ângulo de contacto seja inferior a 90° , a superfície é considerada hidrofílica ou molhante (Figura 2.3) [30, 35].

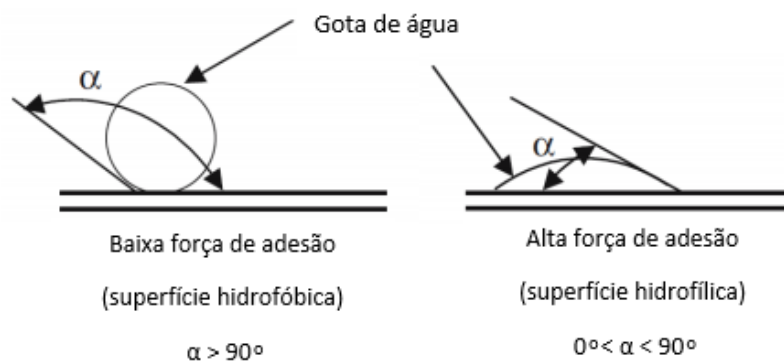


Figura 2.3 - Interação entre a água e uma superfície hidrofóbica e uma superfície hidrofílica (Adaptado de [35]).

Existem ainda superfícies classificadas como superhidrofóbicas. Estas são baseadas no “efeito da folha de lótus”, apresentam ângulos de contacto superiores a 150° e ângulos de deslizamento inferiores a 10° (ângulo inclinado que permite o deslizamento livre da gota de água numa superfície). A superhidrofobicidade resulta da combinação de materiais de baixa energia superficial com a rugosidade

da superfície em escala micro/nanométrica. A rugosidade em escala micro e nanométrica é fundamental, a gota de água nessa rugosidade não assenta totalmente na superfície, uma vez que se criam bolhas de ar entre a estrutura rugosa, resultando numa reduzida área de contacto da gota de água com a superfície, elevado ângulo de contacto, baixa histerese de contacto e baixa força de adesão. Este tipo de superfície tem suscitado muito interesse na comunidade científica pelas suas propriedades de repelência à água e autolimpeza [43].

Neste contexto, com o intuito de reduzir a absorção de água das superfícies, são alteradas as suas propriedades hidrofílicas, inerentes aos materiais, através da aplicação de hidrófugos de superfícies. As propriedades de repelência à água dos hidrófugos advêm de estes serem geralmente materiais apolares. Desta forma, quando aplicados sobre um substrato reduzem a energia superficial da superfície tratada, levando ao aumento do ângulo de contacto e, conseqüentemente, limitando a absorção de água na superfície [4, 34].

Os tratamentos superficiais hidrófugos podem ser classificados, dependendo do seu mecanismo de ação e ingrediente ativo, em formadores de película ou impregnações hidrofóbicas. Os primeiros podem ainda atuar em modos distintos, como um revestimento contínuo ou como bloqueadores de poros [30]. A Figura 2.4 demonstra esquematicamente os vários mecanismos de hidrófugação de superfícies.

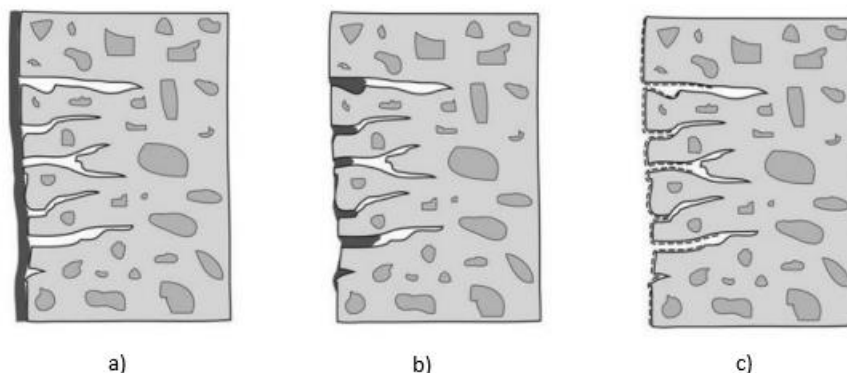


Figura 2.4 - Mecanismos de hidrófugação de superfícies. a) Formadores de película; b) Bloqueadores de poros; c) Impregnações hidrofóbicas (Adaptado de [30]).

Os revestimentos hidrofóbicos formam uma película contínua na superfície (o seu componente repelente à água fica depositado à superfície do substrato) e podem possuir aparência transparente ou opaca [6, 44]. Os bloqueadores de poros, como estearatos, penetram nos poros superficiais e reagem com sais livres preenchendo os poros. Em geral, este tipo de produto não afeta a aparência da superfície [30, 38]. As impregnações hidrofóbicas são habitualmente produtos incolores que quando aplicados penetram na estrutura dos poros superficiais e revestem as paredes dos mesmos com o componente ativo [6, 44].

Em termos de desempenho, a principal diferença entre os dois mecanismos de hidrófugação consiste no efeito causado na permeabilidade ao vapor de água do suporte. Como observado na Figura 2.4, após a impregnação da superfície (Figura 2.4 c) os poros mantêm-se abertos, permitindo a passagem

do vapor de água, mantendo-se a permeabilidade ao vapor de água do substrato praticamente inalterada. No caso dos produtos formadores de película e bloqueadores de poros (Figura 2.4 a e b), uma vez que cobrem os poros, a permeabilidade ao vapor de água é condicionada [6, 30, 44].

No mercado atual, existe uma grande diversidade de produtos hidrófugos. Os compostos à base de silício com diferentes grupos funcionais são os mais utilizados como impregnações enquanto resinas acrílicas, epóxi, poliuretano e ceras minerais são frequentemente utilizados como revestimentos formadores de película [44]. Como bloqueadores de poros os mais utilizados são os estearatos de cálcio ou zinco e os silicatos. [30, 38]

Na presente dissertação apenas será objeto de estudo a utilização de formadores de película como mecanismo de proteção do sistema ETICS à água, uma vez que foram os disponibilizados pelo fabricante como sendo os mais adequados para este sistema, que apresentam uma porosidade extremamente reduzida.

2.2.3 Hidrófugos formadores de película

Os revestimentos hidrofóbicos formadores de película, como tintas e vernizes, criam um filme mecanicamente coeso sobre o substrato de espessura variável, dependente da quantidade de sólidos presente na formulação, constituindo uma barreira à penetração de água líquida [44]. As tintas são constituídas por resinas, solvente (orgânico ou água), pigmento e aditivos enquanto que os vernizes são apenas formados por resinas, solvente e aditivos [35].

A resina é o componente que tem um papel fundamental na formação da película e que apresenta maior influência nas propriedades da mesma. A resina condiciona também a permeabilidade ao vapor de água do revestimento, bem como a aderência ao substrato, a estabilidade ambiental e resistência mecânica e química [35, 44]. Contudo, também os pigmentos, para além de assegurarem a cor, o brilho e o poder de cobertura, têm influência na resistência e permeabilidade do revestimento [35]. Tintas com menor volume de pigmentos apresentam maior brilho e menor permeabilidade, enquanto que revestimento com maior volume de pigmentos apresentam características inversas, menor brilho e maior permeabilidade. [35]

Os solventes têm a função de dissolver a resina e conferir a viscosidade adequada para a aplicação do revestimento. Atualmente, os revestimentos de base aquosa são os que apresentam maior representatividade no mercado devido à crescente consciência ambiental sobre a emissão de compostos orgânicos voláteis de revestimentos à base de solvente [45]. No entanto, estes têm um menor poder de penetração no substrato, são menos duráveis e eficientes que os dispersos em solventes [35].

Por último, os aditivos são substâncias adicionadas à formulação com o intuito de atribuir outras propriedades aos produtos, como por exemplo resistência a desenvolvimento biológico [35], maior flexibilidade ou capacidade de autolimpeza.

No mercado existe uma grande diversidade de produtos hidrófugos formadores de película dependendo do componente ativo (resina). Os mais utilizados são resinas acrílicas, resinas epóxi, de poliuretano e de silicone [44].

As resinas acrílicas são amplamente utilizadas em revestimentos protetores, uma vez que podem ser ajustadas dependendo do objetivo de aplicação através da seleção dos monómeros acrílicos para polimerização ou copolimerização [46]. O que leva a que apresentem boa adesão e propriedades de formação de película, brilho elevado, propriedade de repelência à água, resistência à radiação UV, boa resistência alcalina, permeabilidade ao vapor de água e estabilidade a longo prazo em ambientes exteriores [46, 47].

Os poliuretanos são polímeros que contêm grupos uretanos (-NCOO-), que conferem ao composto a sua natureza polar, habitualmente são longas cadeias moleculares que produzem filmes por polimerização contínua [42]. A principal vantagem deste tipo de revestimento é a sua excelente resistência às intempéries, demonstra baixa perda de brilho e mudança de cor quando exposto à radiação UV. No entanto não são estáveis em ambientes altamente alcalinos, têm baixa resistência a deformações mecânicas e degradação e/ou deformação a altas temperaturas [47].

Os produtos de base epoxídica são os que apresentam melhor resistência química e mecânica e têm maior aderência. Contudo, este tipo de produto não exhibe boa resistência à radiação UV [35, 47].

As resinas de silicone são compostos reticulados tridimensionais, baseados em cadeias Si-O-Si e grupos orgânicos ligados ao átomo de silício [39]. As ligações Si-O são muito estáveis e têm elevada energia de ligação, enquanto que os grupos orgânicos apolares são responsáveis pela repelência à água, sendo mais elevado o grau de hidrofobicidade quanto maior o peso molecular deste grupo [34, 47]. Em geral, os produtos de base silicónica têm capacidade de formar fortes ligações com o substrato, conferem excelentes propriedades hidrófugas e apresentam boa durabilidade, visto que têm elevada resistência aos processos de oxidação e à radiação UV [4, 30].

É de realçar que é possível encontrar produtos formadores de película que aparentemente são similares, no entanto apresentam resultados distintos quando avaliado o seu comportamento. Isto justifica-se pelo facto de que cada componente presente na sua formulação influencia a proteção conferida pelo produto. Para além das resinas, os solventes, os pigmentos e aditivos utilizados podem modificar consideravelmente o comportamento da película [35]. Um outro aspeto fundamental para a durabilidade da proteção é, para além da sua formulação, a boa preparação da superfície e qualidade da sua aplicação [35].

2.3 Síntese de estudos relacionados

Ao longo dos anos, numerosas investigações têm sido realizadas com o objetivo de estudar soluções que protejam os materiais de forma a aumentar a sua vida útil. Na literatura, encontram-se diversos estudos que comprovam a eficácia de produtos hidrófugos de superfície como sistema de proteção dessas mesmas superfícies. Contudo, apesar de muitos trabalhos terem incidido no comportamento inicial e a longo prazo de hidrófugos em pedra, betão e cerâmicos, como [8], [35], [37], [38], [48], [49],

[50], [51], são menores os estudos realizados em argamassas ([4], [7], [52], [53], [54]) e ainda menos frequentes em ETICS ([7, 30]).

Esteves et al. [7], analisaram o comportamento de três impregnações hidrofóbicas (uma dispersão nanoestruturada à base de silício e dióxido de titânio, um silano/siloxano oligomérico e um siloxano) em três suportes distintos, pedra, argamassa à base de cimento e em ETICS. Para a avaliação do desempenho dos tratamentos foram realizados vários ensaios em laboratório: absorção de água por capilaridade, secagem, permeabilidade ao vapor de água, permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de *Karsten*, ângulo de contacto e suscetibilidade ao desenvolvimento de colonização biológica. No geral, os resultados mostraram que todos os produtos apresentavam um desempenho eficaz nos três substratos, verificando-se uma diminuição da absorção de água por capilaridade, da permeabilidade à água com tubos de *Karsten*, no índice de secagem e um aumento do ângulo de contacto das superfícies. Contudo, a aplicação dos hidrófugos levou a um aumento na resistência à difusão do vapor de água, sendo este aumento mais relevante para o caso da pedra (74-227%) e menos significativo para a argamassa (3-4%). Para o caso dos ETICS, a resistência ao vapor de água sofreu um aumento de 4 a 21%, no entanto, as melhorias em termos de absorção de água foram bastante significativas (95-98%). Através deste estudo, concluiu-se ainda que o desempenho do hidrófugo não depende apenas das suas características, mas dessas características combinadas com o substrato no qual é aplicado.

Com o intuito de analisar o efeito do envelhecimento nos três tratamentos hidrofóbicos nos substrato de argamassa e pedra, utilizados em [7], Borsoi et al. [4], recorreram ao envelhecimento artificial acelerado em laboratório que consistia em ciclos higrotérmicos (gelo-degelo e quente-frio) e analisaram as propriedades da superfície tratada e não tratadas, antes e após envelhecimento artificial acelerado, através dos seguintes ensaios: absorção de água por capilaridade, secagem e permeabilidade ao vapor de água. Os resultados mostraram que todos os tratamentos melhoram a durabilidade a longo prazo das amostras tratadas. No entanto, verificaram também que os tratamentos têm eficácia e durabilidade distinta dependendo do substrato. Todos os tratamentos apresentaram maior redução de absorção de água por capilaridade na argamassa do que no calcário e, da mesma forma, apresentaram-se mais duráveis na argamassa. Considerou-se que estas alterações resultaram da porosidade superficial que cada substrato apresentava, tendo a argamassa maior porosidade permitindo assim uma melhor penetração dos produtos de proteção e, conseqüentemente, melhor impermeabilização da superfície. Assim, verificou-se que o produto com melhor desempenho no calcário foi a dispersão nanoestruturada à base de silício e dióxido de titânio, enquanto na argamassa foi o produto à base de siloxano.

Silva et al. [30], apresenta no seu estudo dados coletados de campanhas experimentais que incidem na durabilidade de hidrófugos (sabões metálicos, ceras e silanos) em rebocos e ETICS. Para o caso dos ETICS foram avaliados dois sistemas expostos a condições naturais de serviço. O primeiro através de uma campanha experimental semi-laboratorial e o segundo avaliado quando aplicado em situ. Para a campanha semi-laboratorial, as paredes de ETICS com silanos como agente hidrofóbico foram expostas às orientações norte e sul durante 4 anos e foram realizados ensaios de capilaridade e ensaio com tubos de *Karsten* no final desse período. O segundo sistema ETICS analisado foi aplicado em situ

(exposto às orientações norte, sul, este e oeste) com um reboco de acabamento contendo ceras de polietileno e foi realizada a observação visual do sistema durante 6 anos. No primeiro sistema ETICS, os resultados da campanha semi-laboratorial demonstraram que após 4 anos de exposição natural não existem efeitos significativos nas superfícies, estando todos os valores de absorção de água muito inferiores ao limite recomendado. Para o caso do sistema ETICS analisado em situ, também até aos 4 anos de exposição não foram notados efeitos de envelhecimento. No entanto, entre o 5º e 6º ano, manchas escuras e verdes eram visíveis, especialmente para a orientação a sul. Os resultados obtidos permitiram considerar que o envelhecimento das soluções está associado à lixiviação dos agentes hidrófugos e à sua degradação fotoquímica, uma vez que para as soluções orientadas a sul e oeste os efeitos de envelhecimento apresentaram-se mais intensos. Neste trabalho, considerou-se que os testes com tubos de *Karsten* são uma metodologia mais confiável para determinar a resistência à penetração de água das soluções de acabamento e prever o envelhecimento de soluções de fachada.

Relativamente ao desempenho de produtos formadores de película, Sabatini et al. [52] avaliou o comportamento de um revestimento polimérico de monômeros de metacrilatos de metila e estearila (MMA e STEA, respetivamente) para proteção de argamassas de cal cálcica. O comportamento do polímero e o efeito da variação das concentrações de metacrilato de estearila foram estudados através da medição do ângulo de contacto, da absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor de água e testes colorimétricos CIELab. O desempenho a longo prazo também foi analisado através de envelhecimento acelerado com radiações UV, realizando-se os ensaios mencionados antes e após envelhecimento. Os resultados mostraram que o revestimento polimérico foi eficaz na proteção de argamassas no comportamento repelente à água, reduzindo a absorção de água por capilaridade e aumentando o ângulo de contacto das superfícies tratadas. Verificou-se que maiores concentrações de STEA conduzem a maior impermeabilização da superfície. Em relação à permeabilidade ao vapor de água, com a aplicação dos tratamentos a permeabilidade da superfície ao vapor reduziu. No entanto, as reduções são inferiores a 50%, valor limite para a variação da permeabilidade. Os tratamentos também apresentaram boa durabilidade, sem efeitos significativos na absorção de água, permeabilidade ao vapor de água e alteração na cor após envelhecimento.

Para além do estudo mencionado de Sabatini et al. [52], existem outros estudos que avaliam a utilização de hidrófugos formadores de película como por exemplo o trabalho desenvolvido por Medeiros na sua tese de doutoramento [35], que estudou o desempenho de vários tipos de hidrófugos, desde formadores de película, a impregnações e bloqueadores de poros. Também o trabalho desenvolvido por Bader et al. [44], comparou o comportamento de um formador de película acrílico e de duas impregnações, uma à base de silano/siloxano e outra de tetraetoxisilano. No entanto, estes estudos incidem sobre superfícies de betão, existindo uma lacuna no conhecimento deste tipo de produtos em ETICS.

Como mencionado e concluído através do levantamento de estudos realizados, o comportamento e desempenho de cada produto hidrófugo depende não apenas das suas características, mas também do substrato onde será aplicado. O conhecimento atual sobre hidrófugos de superfície em argamassa e ETICS é bastante limitado, particularmente quando se refere a produtos formadores de película, como mencionado. Assim sendo, a presente dissertação visa contribuir para uma melhor compreensão do

comportamento e desempenho de produtos hidrofóbicos de superfície como sistemas de proteção de ETICS.

No capítulo seguinte é apresentada a campanha experimental, onde são descritos os ensaios de caracterização tanto do sistema ETICS como dos produtos de proteção utilizados.

3 Campanha experimental

3.1 Considerações gerais

O objetivo da presente campanha experimental consiste na avaliação do desempenho de três tintas comerciais aplicadas como sistema de proteção hidrofóbica de um mesmo sistema ETICS em estado novo. Desta forma, este capítulo tem como finalidade descrever os materiais utilizados e procedimentos adotados para cada análise.

O trabalho experimental realizou-se em duas fases. Na primeira fase, analisou-se o desempenho inicial das tintas em relação às suas propriedades hidrófugas, através dos seguintes ensaios realizados sobre o sistema ETICS com cada uma das tintas aplicadas: 1) absorção de água por capilaridade; 2) secagem; 3) permeabilidade à água sob baixa pressão; 4) ângulo de contacto estático; 5) permeabilidade ao vapor de água; e ainda em relação à sua suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores. Na segunda fase avaliou-se a durabilidade dos produtos aplicados no sistema recorrendo-se ao envelhecimento artificial acelerado, através de ciclos calor-gelo e chuva-gelo, repetindo-se posteriormente nos provetes envelhecidos todos os ensaios realizados na primeira fase. Para além destes ensaios, realizaram-se também ensaios de caracterização inicial das tintas e do sistema ETICS, nomeadamente, a determinação da massa volúmica e a análise do resíduo seco das tintas, análise através de microscopia ótica e microscopia eletrónica de varrimento (SEM), ensaios que se encontram descritos na secção 3.4. E ainda, ao longo da campanha experimental recorreu-se à microscopia ótica com o intuito de avaliar a morfologia das superfícies ao longo dos ensaios.

Em cada ensaio, juntamente com os provetes com a aplicação das tintas de proteção, ensaiaram-se igualmente provetes sem qualquer tipo de aplicação servindo como referência.

A campanha experimental desenvolveu-se maioritariamente no laboratório do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos inserido no Departamento de Edifícios (DED/NRI) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo apenas o ensaio do ângulo de contacto estático sido realizado no Laboratório de Materiais Nanoestruturados e Nanotecnologias (NanoMatLab) do Instituto Superior Técnico e o ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores no laboratório do Núcleo de Comportamento de Estruturas inserido no Departamento de Estruturas (DE/NCE) do LNEC. As análises de microscopia eletrónica de varrimento (SEM) e análises elementares foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrónica (MicroLab) do Instituto Superior Técnico.

3.2 Materiais utilizados

3.2.1 Sistema ETICS

O sistema ETICS é caracterizado pelos seus diversos constituintes. Na Tabela 3.1, encontram-se resumidas as principais características e propriedades de cada componente do sistema utilizado na presente dissertação, de acordo com as respetivas fichas técnicas.

Tabela 3.1 - Componentes do sistema ETICS estudado

Constituintes	Descrição	Propriedades
Isolante térmico	Placas de Poliestireno expandido (EPS)	Condutibilidade térmica = 0,035 W/mk Massa volúmica = 20 kg/m ³ Coeficiente de resistência ao vapor μ = 30-70 Calor específico = 1450 J/kg°K Euroclasse de reação ao fogo: E
Camada de base	Produto baseado em cimento, cargas selecionadas, agregados e aditivos que lhe conferem boas características de utilização, adesão e resistência	Boa aderência ao cimento, tijolos e materiais isolantes; Elevada permeabilidade ao vapor de água; Excelente resistência às substâncias alcalinas;
Armadura	Rede de fibra de vidro 160 grs	Especial resistência às substâncias alcalinas e a altas tensões de tração em ambos os sentidos
Primário	Solução aquosa de resina estireno acrílica	Elevada opacidade e cobertura, com alto poder de enchimento
Acabamento	Produto baseado em copolímeros acrílicos em solução aquosa, farinhas de quartzo e granulados de mármore calibrados e selecionados, com grão de diâmetro médio de 1mm, pigmentos e aditivos. Contêm também na sua formulação dióxido de titânio.	Elevada aderência ao substrato; Excelente resistência a álcalis e agentes atmosféricos; Estabilidade das cores, mesmo em paredes mais expostas à radiação solar e às intempéries; Boas características de impermeabilidade à água e permeabilidade ao vapor de água. Resistente aos ataques microbiológicos.

3.2.2 Produtos hidrófugos

3.2.2.1 Nomenclatura adotada e características das fichas técnicas

Os produtos utilizados como sistema de proteção à água no trabalho experimental, como mencionado, foram tintas. Utilizaram-se três tipos de tintas, as respetivas características e nomenclaturas adotadas são as seguintes:

- H0: Designação utilizada para as referências, sem aplicação de tinta;

- H1: Tinta de acabamento baseada numa dispersão aquosa especial 100% acrílica, pigmentada com dióxido de titânio rutilo e cargas inertes;
- H2: Tinta à base de resinas siloxânicas com biocida;
- H3: Tinta baseada numa dispersão aquosa especial 100% acrílica, pigmentada com dióxido de titânio rutilo.

Na Tabela 3.2, encontram-se resumidas as características e propriedades descritas nas fichas técnicas e de segurança de cada produto.

Tabela 3.2 - Características dos produtos utilizados

Produtos	Características químicas	Características físicas	Propriedades
H1	Tinta baseada numa dispersão aquosa especial 100% acrílica, pigmentada com dióxido de titânio rutilo e cargas inertes	Cor: Branco Brilho: Mate Massa Volúmica: 1,34 ± 0,05 g/cm ³ Viscosidade: 110 - 116 KU/25°C ^(a) pH: 8,00 - 9,00 %VOC: < 39 g/l	Elevada durabilidade no exterior Boa resistência aos raios UV Excelente aderência ao substrato
H2	Tinta à base de resinas siloxânicas e contêm biocida	Cor: Branco Brilho: Mate Massa Volúmica: 1,58 ± 0,05 g/cm ³ Viscosidade: 95 - 105 KU/25°C pH: 8,50 - 10,00 %VOC: < 40 g/l	Elevada permeabilidade ao vapor de água Elevada Hidro-repelência Auto-lavável Excepcional resistência à alcalinidade Superior resistência ao desenvolvimento de fungos e algas Elevada Opacidade Excelente adesão ao substrato
H3	Tinta baseada numa dispersão aquosa especial 100% acrílica, pigmentada com dióxido de titânio rutilo	Cor: Branco Brilho: Mate Massa Volúmica: 1,30 ± 0,03 g/cm ³ Viscosidade: 113 - 117 KU/25°C pH: 8,00 - 9,00 %VOC: < 39 g/l	Rápida Hidro-repelência Ótima durabilidade exterior Resistência aos raios UV Bom poder de cobertura Capacidade de autolavagem

^(a)O valor pode aumentar com o tempo de armazenamento

3.3 Aplicação dos produtos

3.3.1 Recomendações das fichas técnicas para a aplicação

As Fichas técnicas respetivas de cada tinta, dão indicações de como devem ser realizadas as aplicações dos produtos no suporte. De forma generalizada, as aplicações devem ser apenas realizadas se a temperatura ambiente estiver entre os 5 e os 35°C. Não devem ser aplicadas em suportes gelados ou expostos a radiações solares intensas e diretas, quando está a chover ou quando está vento forte, especialmente se este for quente e seco.

É recomendada a utilização de rolo, trincha ou pistola para a aplicação de cada tinta. Os tempos de secagem indicados para ambas são de 1 a 2 horas, em zonas bem ventiladas e a temperatura da ordem dos 20°.

Na Tabela 3.3, encontram-se as recomendações presentes nas fichas técnicas específicas para cada produto de proteção, relativamente às diluições, número de demãos, tempos de secagem entre demãos e rendimentos.

Tabela 3.3 - Recomendações para as condições de aplicação de cada produto.

Produtos	Diluição e nº de demãos:	Tempo de secagem entre cada demão	Rendimento
H1	Aplicar a 1º demão diluída até 10% com água e restantes demãos sem diluição	2 a 3 horas	12 a 14 m ² /Litro/Demão
H2	Aplicar 2 a 3 demãos, diluídas até 10% com água	12 horas	8 a 10 m ² /Litro/Demão
H3	Aplicar pelo menos 2 demãos, podendo a 1ª demão ser diluída com 5 a 10% de água. AS restantes deverão ser aplicadas sem diluição	3 a 4 horas	10 a 15 m ² /Litro/Demão

3.3.2 Aplicação

A aplicação de cada produto, H1, H2 e H3, realizou-se numa placa de ETICS de 0,25 m² com trincha (Figura 3.1) que, após a secagem do produto aplicado, cortou-se em diversos provetes, nomeadamente seis provetes de dimensões 15 × 15 cm, 6 provetes de 4 × 4 cm e 6 provetes circulares de diâmetro de 7 cm.

Conforme as indicações das fichas técnicas, as aplicações foram feitas a temperatura ambiente (na ordem de 20°C) e em ambiente bem ventilado. Definiu-se a aplicação de duas demãos, a primeira demão foi diluída em água, 10% da quantidade de tinta, e a segunda, aplicada na direção ortogonal da primeira, sem qualquer diluição. O tempo de secagem entre demãos foi de pelo menos 24h, de forma a garantir a secagem completa da tinta.

Relativamente à quantidade de tinta aplicada, numa fase inicial adotaram-se os rendimentos médios recomendados nas fichas técnicas. Contudo, para as tintas H1 e H3 os valores recomendados mostraram-se insuficientes para cobrir toda a superfície, pelo que foi necessário utilizar uma quantidade superior à recomendada (Tabela 3.4). O controlo do produto aplicado realizou-se através de um copo graduado. No entanto, é de realçar que do volume medido, uma percentagem foi perdida no pincel e no copo, não sendo a sua totalidade aplicada no suporte.

Na Tabela 3.4, observam-se os rendimentos fornecidos pelas fichas técnicas, que foram passados para consumos através das massas volúmicas, presentes também na ficha técnica de cada produto, e as quantidades e composição de cada aplicação utilizados.

Tabela 3.4 – Comparação entre os consumos das fichas técnicas e os consumos das aplicações realizadas

Produto	Massa Volúmica* (g/cm ³)	Rendimento* (m ² /L/demão)	Consumo (ml/0,25m ² /demão)	Consumo de cada aplicação (ml/0,25m ²)	
				1º Demão	2º Demão
H1	1,34 ±0,05	12 a 14	17,9 a 20,8	30 de tinta + 3 de água	30 de tinta
H2	1,58 ±0,05	8 a 10	25,0 a 31,3	30 de tinta + 3 de água	30 de tinta
H3	1,30 ± 0,03	10 a 15	16,7 a 25,0	30 de tinta + 3 de água	30 de tinta

* valores indicados nas fichas técnicas de cada produto.

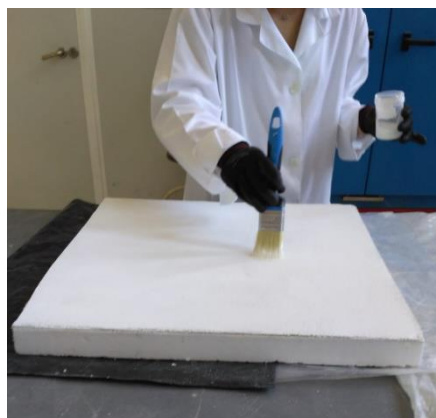


Figura 3.1 - Aplicação das tintas na placa de ETICS de 0,25 m².

3.4 Ensaios de caracterização inicial dos produtos e do sistema ETICS

3.4.1 Massa volúmica

Apesar de as massas volúmicas de cada tinta serem fornecida nas fichas técnicas respetivas, optou-se pela realização do ensaio de determinação das mesmas.

O ensaio realizou-se tendo por base a *ISO 2811-1* [55] e consistiu em colocar num copo graduado de massa determinada, um volume de tinta definido (10ml) (Figura 3.2) e obter a massa do conjunto. Através da diferença de massas é possível obter a massa de tinta correspondente ao volume colocado e determinar a massa volúmica, segundo a equação 3.1.

$$MV = \frac{Massa (g)}{Volume (cm^3)} \quad (3.1)$$

O presente ensaio realizou-se 3 vezes consecutivas sendo os valores obtidos as médias das massas volúmicas determinadas, determinando-se também o respetivo desvio padrão.



Figura 3.2 - Copo graduado com 10 ml de produto.

3.4.2 Resíduo seco

Este ensaio teve como objetivo analisar a perda do solvente (água e possíveis aditivos líquidos) durante o processo de secagem das tintas.

O procedimento adotado para a realização da análise pretendida consistiu na colocação de 10 ml de tinta numa placa de Petri de massa determinada (Figura 3.3) e na pesagem do conjunto no início, às 24h, após 7 e 14 dias do início do ensaio. O ensaio decorreu em ambiente condicionando de temperatura de $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $(50 \pm 5) \%$.

A percentagem do solvente perdido ao longo do tempo obteve-se através da seguinte expressão:

$$AP_t (\%) = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

- AP_t – Percentagem de solvente perdido até ao instante t;
- M_0 – Massa de tinta fresca (g);
- M_t – Massa de tinta no instante t (g).



Figura 3.3 - Prato de Petri com 10 ml de produto.

3.4.3 Microscopia ótica

Com o objetivo de avaliar a espessura da camada de tinta e das restantes camadas do sistema ETICS utilizou-se um microscópio ótico *Olympus SZH-10* (Figura 3.4) juntamente com um sistema de aquisição de imagem *Olympus SC-30* com o *software Olympus LabSens*. A observação das secções transversais das amostras a diferentes escalas permitiu medir as espessuras da camada de tinta aplicada, da camada de acabamento e da camada de base do sistema ETICS.



Figura 3.4 - Microscópio ótico e software de imagem.

3.4.4 Microscopia eletrónica de varrimento

A microscopia eletrónica de varrimento é uma técnica experimental que permite caracterizar a microestrutura da superfície dos materiais numa ampla gama de ampliações e, adicionalmente, efetuar uma microanálise química [56]. Deste modo, a técnica foi utilizada com o intuito de analisar as diferenças microestruturais e químicas elementares entre os produtos a estudar (H0, H1, H2 e H3).

Para a realização desta técnica experimental, utilizou-se um *Hitachi S-2400 SEM*, operando numa faixa de tensões de aceleração de 20 kV. Cobriu-se as amostras com um filme condutor de *Au-Pd* (80:20), com recurso a um *Quorum Technologies Q150T ES*, e as análises elementares realizaram-se com um detector *SDD (Silicon Drift Detector)* para elementos leves, da *Bruker*.

Para cada produto analisou-se a microestrutura a ampliações de 500x, 1000x e 5000x.

3.5 Ensaios para caracterização do desempenho dos produtos

3.5.1 Ensaios de desempenho inicial

3.5.1.1 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade realizou-se em conformidade com o especificado no *ETAG 004 (EOTA 2013)* [17]; foram utilizados 3 provetes de dimensões 15 × 15 cm para cada produto.

Primeiramente, todos os provetes foram condicionados durante 7 dias a condições de temperatura de $(20 \pm 3) ^\circ \text{C}$ e humidade relativa de $(65 \pm 5) \%$. As faces laterais dos provetes foram seladas com fita cola metálica impermeável (Figura 3.5a), para impedir qualquer troca de humidade, garantido que apenas a camada superficial estaria sujeita à absorção de água e ao processo de secagem.

O ensaio de absorção por capilaridade consiste na imersão da superfície referente à camada de acabamento durante 24 horas (Figura 3.5b), a uma profundidade que garanta a submersão total da camada superficial (2 a 10 mm), e a realização de pesagens dos provetes após 3 min, 1h, 4h, 8h e 24 h, removendo-se cuidadosamente com um pano húmido o excesso de água que se encontra na superfície do provete antes de cada pesagem.

No final das 24 h, iniciou-se de imediato o ensaio de secagem com a massa correspondente às 24h de absorção capilar, a ser considerada como massa inicial para o ensaio de secagem.



Figura 3.5 - a) Provetes selados com fita cola metálica; b) Provetes de ETICS imersos em água durante o ensaio de absorção de água por capilaridade

A realização deste ensaio resulta na determinação das curvas de absorção de água por capilaridade ao longo do tempo e do coeficiente de absorção de água por capilaridade, que expressa a velocidade de absorção de água por capilaridade no período inicial. O coeficiente de absorção de água por capilaridade (C_c) corresponde ao declive da reta inicial no gráfico que exprime a absorção de água por capilaridade em função do tempo, isto é, o declive da reta que une os pontos relativos à absorção de água no instante inicial e no minuto 3. Optou-se por realizar o coeficiente de capilaridade neste segmento uma vez que a reta até aos 3 minutos, à partida, corresponde à absorção de água pelo acabamento, enquanto que a seguinte deve representar a absorção, pelo menos em parte, da camada de base. Neste contexto, considerou-se que o coeficiente calculado aos 3 minutos seria o mais adequado tendo em conta o objetivo do estudo. A seleção deste segmento teve também em conta outros resultados obtidos no âmbito do projeto *WGB_Shield* (FCT / PTDC / ECI - EGC / 30681/2017), no qual se insere a presente dissertação, como por exemplo os apresentados em [57], de forma a ter valores comparáveis.

Assim, o coeficiente de capilaridade aos 3 min pode ser obtido através da equação 3.3.

$$C_c = \frac{M_2 - M_1}{A \times (\sqrt{0,05})} \quad (3.3)$$

Onde:

- C_c é o coeficiente de absorção de água por capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$);

- M_1 a massa do provete no início do ensaio (kg);
- M_2 a massa do provete aos 3 min (0,05 h) (Kg);
- A a área de base imersa (m²).

3.5.1.2 Secagem

O ensaio de secagem realizou-se de acordo com o especificado na norma EN 16322 [58]. Este ensaio efetuou-se imediatamente após o ensaio de absorção de água por capilaridade, utilizando-se os mesmos provetes, e a massa inicial correspondeu à massa obtida às 24 h para a absorção capilar, como mencionado anteriormente.

O ensaio consistiu em colocar os provetes em ambiente condicionado, com uma temperatura de $(20 \pm 3)^\circ \text{C}$ e humidade relativa de $(50 \pm 5)\%$, e efetuar pesagens ao longo do tempo. No primeiro dia de ensaio, as pesagens foram realizadas aos 10, 20, 30 min, 1, 2, 4, 6, 8h e nos dias seguintes realizou-se de 24 em 24h até se alcançar, para todos os provetes, uma variação de massas entre duas pesagens consecutivas igual ou inferior a 1% (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Provetes durante o ensaio de secagem.

A partir dos valores obtidos das pesagens ao longo do tempo, é possível construir as curvas de secagem, que relacionam a perda de água do provete, razão entre a massa de água evaporada e a área de base do provete, com a raiz quadrada do tempo. Através destas curvas é possível analisar a influência dos produtos aplicados nas cinéticas de secagem dos sistemas ETICS.

Numa primeira fase do processo de secagem (*step I*), o transporte da água líquida ocorre por forças capilares até à superfície do mesmo e aí dá-se a evaporação da água com conseqüente diminuição do teor de humidade ao longo do tempo. O declive inicial da curva de secagem é determinado através de uma regressão linear, corresponde a esta primeira fase e obtém-se através deste a taxa de secagem 1 (TS1), que exprime a velocidade com que se processa a secagem na fase 1 e traduz a desabsorção de água (kg/m²) em função do tempo (h) [58]. Quando a água que chega à superfície é insuficiente para compensar a evaporação, inicia-se uma segunda fase do processo de secagem (*step II*); a frente de secagem recua para o interior do material, dando-se o transporte de humidade por capilaridade até à frente de secagem, e da frente de secagem até à superfície do material por difusão de vapor, levando

a um processo de secagem cada vez mais lento. Esta fase é caracterizada pela taxa de secagem 2 (TS2), que é obtida através do declive da fase intermédia da curva de secagem correspondente à fase 2, representada pela desabsorção de água (kg/m²) em função da raiz quadrada do tempo (h^{0.5}). À semelhança do declive da fase inicial, também o declive da fase 2 é determinado com base numa regressão linear [58].

Para além das velocidades de secagem de ambas as fases, através das curvas de secagem também é possível a determinação do índice de secagem (IS) que reflete a resistência à secagem do suporte, isto é, índices com valores mais baixos indicam maiores capacidades de secagem do material. Este índice é obtido através da equação 3.4 [7].

$$I_S = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f\left(\frac{M_x - M_1}{M_1}\right) dt}{\left(\frac{M_3 - M_1}{M_1}\right) \times t_f} \quad (3.4)$$

Onde:

- M_x corresponde à massa do provete registada durante o processo de secagem (g);
- M_1 corresponde à massa do provete no estado seco (g);
- M_3 corresponde à massa do provete no estado saturado (g), que diz respeito à massa no início do processo de secagem;
- t_f corresponde ao tempo final do ensaio de secagem (h).

3.5.1.3 Permeabilidade à água sob baixa pressão - Tubos de Karsten

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão realizou-se com tubos de Karsten e em ambiente condicionando de temperatura de (20 ± 3) °C e humidade relativa de (50 ± 5) %. O objetivo deste ensaio consiste na avaliação do comportamento das tintas aplicadas nos sistemas ETICS à ação combinada da chuva e do vento, sendo possível obter a quantidade de água absorvida à superfície do sistema sob um gradiente de pressão, durante um determinado intervalo de tempo numa área específica.

O ensaio realizou-se conforme o especificado na ficha de ensaio do LNEC *FE Pa 39 (2002)* [59], elaborada segundo o teste nº II.4 do *RILEM (1980)* [60]. O ensaio incidiu em 3 provetes de dimensões 15 × 15 cm para cada produto.

O procedimento deste ensaio baseou-se na fixação de 2 tubos de Karsten na superfície de cada provete através de um selante (Figura 3.7). De seguida, preencheu-se os tubos com água até à referência inicial de 4 ml e registou-se a descida do nível de água após 3 e 30 min, 1, 4, 8 e 24 h. É de salientar que é importante evitar um uso excessivo de material selante, de forma a não influenciar a área de absorção.



Figura 3.7 - Provetes durante o ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de Karsten.

É possível, através dos valores registados, determinar o coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio (C_{abs}^{60min} em $kg/m^2 \cdot min^{-0.5}$). O coeficiente de absorção de água aos 60 min pode ser obtido através da equação 3.5 [60].

$$C_{abs}^{60min} = \frac{A_{bp} \times 10^{-3}}{A_{contacto} \times 10^{-4} \times \sqrt{1h}} \quad (3.5)$$

Onde:

- C_{abs}^{60min} é o coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio ($kg/m^2 \cdot h^{-0.5}$)
- A_{bp} é a massa absorvida aos 60 min de ensaio (g);
- $A_{contacto}$ é a área de contacto do tubo com a superfície (cm^2), considerou-se um valor de 5,7 cm^2 ;

3.5.1.4 Ângulo de contacto estático

A determinação do ângulo de contacto de uma superfície teve como finalidade analisar o desempenho dos produtos aplicados aos ETICS em termos de alteração das propriedades hidrofílicas inerentes a estes sistemas.

Para se obter o ângulo de contacto de cada superfície estudada, com e sem aplicação de produtos, recorreu-se à técnica *ADSA* (*Axisymmetric Drop Shape Analysis*), utilizando um equipamento composto por uma câmara de vídeo (*jAi CV-A50*) montada num microscópio Wild M3Z (*Leica Microsystems*) e dois suportes móveis para a amostra e para a micropipeta, respetivamente (Figura 3.8).

O procedimento do ensaio consistiu na colocação de uma microgota ($4 \pm 0,4 \mu l$) na superfície a analisar (Figura 3.8b) e na aquisição, através do software, de diversas imagens e dos ângulos de contacto respetivos. Em cada análise, fez-se uma média dos valores obtidos para o ângulo de contacto. O ângulo de contacto (θ) é obtido de acordo com a equação 3.6 (utilizando o *MATLAB*).

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{2 \times hm}{am} \right) \quad (3.6)$$

Onde:

- hm é a altura;
- am é o diâmetro da microgota.

Para cada produto efetuaram-se três análises em locais distintos do provete.

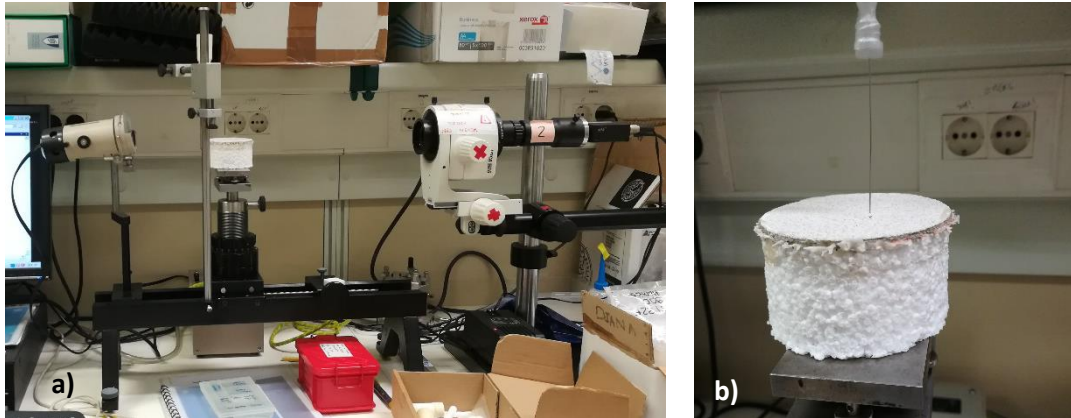


Figura 3.8 - a) Equipamento utilizado para a medição do ângulo de contacto estático; b) Provete e micropipeta durante o ensaio.

3.5.1.5 Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água realizou-se segundo o *ETAG 004* [17], utilizando-se o método da cápsula seca, e teve como objetivo avaliar a influência dos produtos aplicados na permeabilidade ao vapor de água do suporte em estudo. Este ensaio implica a utilização de um dessecante (CaCl_2) de forma a que a humidade relativa no interior da cápsula seja inferior à existente no exterior, originando assim um fluxo de humidade do exterior para o interior da cápsula.

Para a realização do ensaio utilizaram-se recipientes preenchidos previamente com 150 ml de CaCl_2 , dessecante que garante uma HR de 20% no interior da cápsula. Os provetes foram acoplados aos recipientes com a camada de base virada para o lado exterior do recipiente e o conjunto (provetes com respetivo recipiente) foi selado hermeticamente nos lados com fita cola e parafina (Figura 3.9a). De seguida, foram condicionados numa câmara climática a uma temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $(50 \pm 5)\%$ (Figura 3.9b) e efetuaram-se pesagens de 24h em 24h. As medições de massa decorreram até se atingir massa constante.

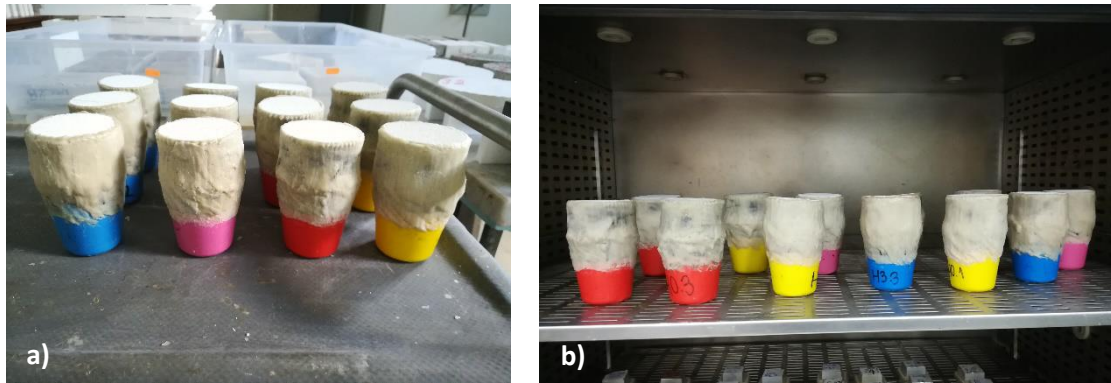


Figura 3.9 - a) Provetes nos respectivos recipientes e selados hermeticamente; b) Provetes durante o ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

Através dos valores obtidos é possível determinar a permeância ao vapor de água (Λ) em kg/m².s.Pa (equação 3.7), a permeabilidade ao vapor de água (W_{vp}) em kg/m.s.Pa (equação 3.8), o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) (equação 3.9) e a espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d) em m (equação 3.10) [61].

$$\Lambda = \frac{m}{A \times \Delta_p} \quad (3.7)$$

$$W_{vp} = \Lambda \times e \quad (3.8)$$

$$\mu = \frac{1,94 \times 10^{-10}}{\Lambda \times e} \quad (3.9)$$

$$S_d = \mu \times e \quad (3.10)$$

Onde:

- m corresponde ao declive da relação linear entra a variação de massa e o tempo (kg/s)
- A corresponde à área do provete (m²);
- Δ_p corresponde à diferença entre a pressão de vapor exterior e interior (Pa);
- e corresponde à espessura do provete (m);

Considerando o método da cápsula seca, os valores considerados para a pressão interior e exterior foram 0 Pa e 1395 Pa, respetivamente.

3.5.1.6 Ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

Uma das desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS é a sua deterioração biológica a longo prazo [5, 28]. Nesse sentido, realizaram-se ensaios de avaliação da

suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores dos diferentes produtos antes e após envelhecimento artificial. Para tal, utilizaram-se três provetes de cada um dos produtos (H0, H1, H2, H3) com dimensões aproximadas de 40 × 40 × 40 mm.

O ensaio realizou-se de acordo com uma metodologia adaptada das Normas Americanas *ASTM D 5590-17* (2017) [62] e *ASTM C 1338-19* (2019) [63] e previamente validada por Parracha et al. [64]. Cada um dos provetes foi esterilizado em autoclave durante 20 min e colocado em frascos previamente esterilizados e contendo meio de cultura adequado (4% de malte, 2% de agar) (Figura 3.10). Utilizaram-se também 3 provetes de madeira (*Pinus pinaster*) com dimensões de 40 × 40 × 10 mm, que serviram como controlo e permitiram a validação do ensaio [63].

Para a realização do ensaio procedeu-se à inoculação de cada um dos provetes com 2 ml de uma suspensão mista *Aspergillus niger* e *Penicillium funiculosum*, organismos que foram escolhidos por serem considerados representativos dos normalmente presentes nas condições habituais de exposição [62, 65, 66]. Seguidamente, os frascos de cultura mantiveram-se em ambiente controlado com uma temperatura de (22 ± 1) °C e uma humidade relativa de (70 ± 5) % por um período de quatro semanas. Efetuou-se uma avaliação visual do grau de crescimento uma vez por semana seguindo os procedimentos definidos na norma *ASTM D 5590-17* (2017) [62] (Tabela 3.5). Após quatro semanas de incubação, as amostras foram removidas do interior dos frascos e classificadas visualmente com recurso a um microscópio estereoscópico *Olympus B061*.



Figura 3.10 - Provetes em frascos com meio de cultura adequado.

Tabela 3.5 - Classificação visual de crescimento de bolores de acordo com a norma *ASTM D 5590-17* [62].

Intensidade de crescimento	Avaliação	Quantidade de crescimento na superfície da amostra
0	Sem crescimento aparente de bolores	0%
1	Traços de crescimento	< 10%
2	Crescimento leve	10 – 30%
3	Crescimento moderado	30 – 60%
4	Crescimento considerável	60 – 100%

3.5.2 Ensaio de desempenho após envelhecimento

De forma a avaliar a durabilidade dos produtos, submeteu-se os provetes, 3 provetes de 15 × 15 cm, 3 de 4 cm x 4 cm e 3 provetes circulares de 7 cm de diâmetro de cada produto (H0, H1, H2 e H3), ao ensaio de envelhecimento artificial acelerado, descrito na secção seguinte, e posteriormente ao conjunto de ensaios descrito anteriormente: absorção de água por capilaridade, secagem, permeabilidade à água sob baixa pressão, ângulo de contacto, permeabilidade ao vapor de água e suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores. Através da comparação dos valores obtidos nos ensaios realizados com os provetes antes e após o envelhecimento, foi possível analisar a durabilidade dos produtos aplicados como sistemas de proteção do sistema ETICS.

3.5.2.1 Ensaio de envelhecimento artificial acelerado

A realização deste ensaio teve como finalidade simular o envelhecimento das tintas aplicadas em suportes exteriores através de ciclos de envelhecimento acelerado e realizou-se tendo por base a norma europeia *EN 1015-21* [67].

Os provetes destinados ao envelhecimento, três provetes retangulares e 3 provetes circulares para cada produto e para a referência, foram selados previamente com fita cola metálica. Na interface fita cola metálica - camada de base foi também aplicado um selante de base silicónica, de forma a tornar a selagem mais resistente aos ciclos de envelhecimento higrotérmico (Figura 3.11a).

O ensaio consistiu em expor os provetes a dois ciclos distintos: calor-gelo e chuva-gelo. Começou-se por aplicar 4 ciclos de calor-gelo, nomeadamente:

- Aquecimento através de radiação infravermelha a $T = 60 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 3.12a), durante $8 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$;
- Condicionamento a $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5 \%$, durante $30 \text{ min} \pm 2 \text{ min}$;
- Arrefecimento a $T = -15 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 3.11b), durante $15 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$;
- Condicionamento a $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5 \%$, durante $30 \text{ min} \pm 2 \text{ min}$.

No final dos 4 ciclos de calor-gelo, os provetes foram condicionados a $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5 \%$ durante pelo menos 48h. Após este período, submeteu-se os mesmos provetes a 4 ciclos de chuva-gelo, onde cada ciclo consiste em:

- Aspersão da superfície pintada dos provetes com água a $T = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 3.12b), durante $8 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$;
- Condicionamento dos provetes a $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5 \%$, durante $30 \text{ min} \pm 2 \text{ min}$;
- Arrefecimento a $T = -15 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 3.11b), durante $15 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$;
- Finalmente, condicionamento durante $30 \text{ min} \pm 2 \text{ min}$ a condições de $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5 \%$.

De seguida, os provetes foram novamente colocados em condições normalizadas ($T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $HR = 65 \pm 5 \%$), durante pelo menos 48h, e posteriormente submetidos a mais um conjunto de 4 ciclos de calor-gelo e 4 ciclos de humidade-gelo, como descrito anteriormente, realizando-se no total 8 ciclos de calor-gelo e 8 ciclos de humidade-gelo.

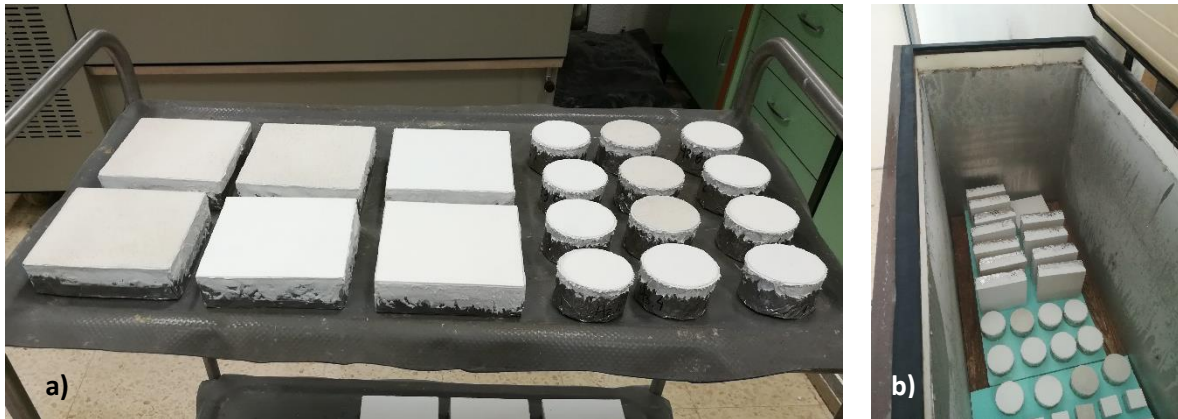


Figura 3.11 - a) Provetes selados para o ensaio de envelhecimento artificial acelerado; b) Arrefecimento dos provetes em arca frigorífica.

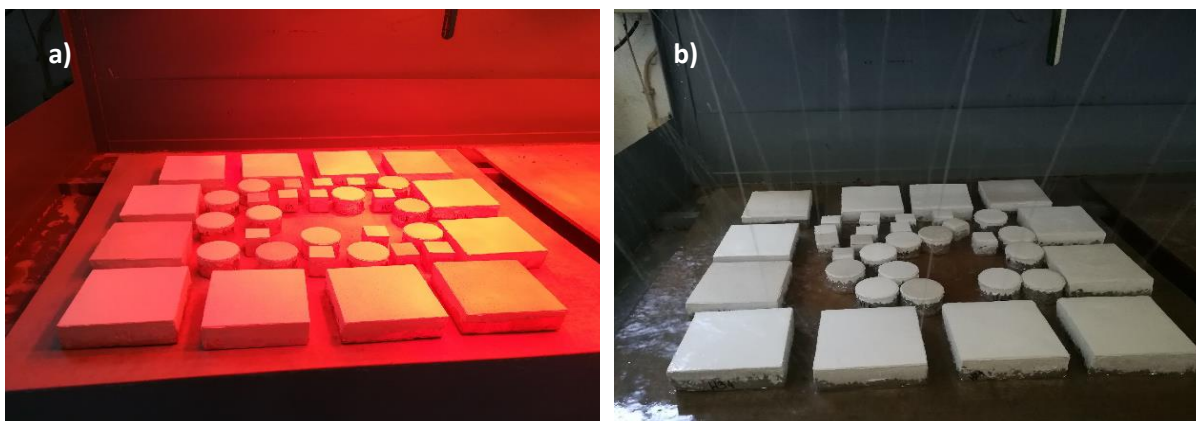


Figura 3.12 - a) Aquecimento dos provetes através de radiação infra-vermelha; b) Aspersão da superfície dos provetes com água.

3.6 Ensaio complementar – Microscopia ótica

Com o intuito de fazer uma análise microscópica das superfícies com e sem produtos de proteção e antes e após envelhecimento artificial acelerado, recorreu-se à microscopia ótica.

As superfícies dos ETICS foram observadas antes e após envelhecimento artificial acelerado através de um microscópio ótico *Olympus SZH-10*. A morfologia das superfícies e a presença de eventuais anomalias (p. ex. microfissuras, perda de material superficial ou alterações cromáticas) foi avaliada. As microfotografias foram obtidas através de um sistema de aquisição imagem *Olympus SC-30* com o software *Olympus LabSens*.

3.7 Síntese do capítulo

Nesta campanha experimental foram analisados três tipos de tintas aplicadas num sistema ETICS com isolante térmico de EPS. No total analisaram-se quatro tipologias de proteção distintas: H0, H1, H2 e H3, sendo H0 o sistema ETICS sem qualquer tipo de proteção, servindo de referência, e H1, H2 e H3, correspondentes ao sistema ETICS com aplicação dos produtos de proteção hidrofóbica.

Inicialmente, realizaram-se ensaios de caracterização inicial tanto das tintas como do sistema ETICS, nomeadamente, massa volúmica e resíduo seco das tintas, para além de microscopia ótica e microscopia eletrónica de varrimento (SEM) nas tintas e sistema ETICS. Posteriormente foram feitos ensaios de caracterização do desempenho do produto de proteção aplicado no sistema ETICS, que numa primeira fase incluiu os seguintes ensaios: 1) absorção de água por capilaridade; 2) cinética de secagem; 3) permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de *Karsten*; 4) ângulo de contacto estático; 5) permeabilidade ao vapor de água; adicionalmente, a suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores foi avaliada. Numa segunda fase analisou-se a durabilidade dos produtos aplicados no sistema ETICS através do envelhecimento artificial acelerado, com ciclos calor-gelo e chuva-gelo, repetindo-se posteriormente nos provetes envelhecidos todos os ensaios realizados na primeira fase. Ao longo da realização dos ensaios de caracterização do desempenho das tintas, recorreu-se à microscopia ótica de forma a observar a morfologia das superfícies aos longo dos ensaios.

O número total de provetes ensaiados, por ensaio e por tipologia, bem como as suas dimensões, encontram-se na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Ensaios e número de provetes ensaiados.

Ensaios	Nº de provetes de ETICS por tipologia de proteção	Dimensões	Nº total de provetes ensaiados
Absorção de água por capilaridade	3 x 2*	15 cm x 15 cm	3 x 2 x 4 = 24
Secagem	3 x 2*	15 cm x 15 cm	3 x 2 x 4 = 24
Permeabilidade à água sob baixa pressão	3 x 2* (com 2 tubos de <i>Karsten</i> em cada provete)	15 cm x 15 cm	3 x 2 x 4 = 24
Ângulo de contacto	3 x 2*	Circular com diâmetro de 7 cm	3 x 2 x 4 = 24
Permeabilidade ao vapor de água	3 x 2*	Circular com diâmetro de 7 cm	3 x 2 x 4 = 24
Suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores	3 x 2*	4 cm x 4cm	3 x 2 x 4 = 24
Envelhecimento artificial acelerado	9	3 provetes 15 cm x 15 cm 3 provetes circulares de diâmetro 7 cm 3 provetes 4 cm x 4 cm	9 x 4 = 36

* 3 provetes antes do envelhecimento artificial acelerado e 3 provetes após envelhecimento artificial acelerado.

4 Análise e discussão de resultados

4.1 Considerações iniciais

No presente capítulo são apresentados e analisados os resultados médios obtidos em todos os ensaios realizados, para o sistema ETICS com e sem sistema de proteção. Os produtos de proteção hidrofóbica utilizados são duas tintas de base acrílica (H1 e H3) e uma à base de siloxano (H2). Os resultados individuais para cada provete podem ser consultados nos Anexos II, III, IV e V.

4.2 Caracterização inicial dos produtos e do sistema ETICS

Nesta secção são caracterizados os produtos de proteção (H1, H2 e H3) através do ensaio da massa volúmica, resíduo seco, microscopia ótica e SEM. Também o sistema ETICS sem proteção (H0) foi caracterizado através da microscopia ótica e SEM.

4.2.1 Massa volúmica

Na Tabela 4.1, encontram-se as massas volúmicas e respetivos desvios padrão medidos experimentalmente e as massas volúmicas indicadas nas fichas técnicas de cada produto de proteção hidrofóbica. A massa volúmica medida para H2 e H3 encontram-se dentro dos valores indicados nas fichas técnicas. No entanto, o valor obtido para H1 apresenta-se fora do intervalo de valores indicados, 7,5% inferior ao valor da ficha técnica.

Para os produtos H2 e H3 sabe-se (através da ficha técnica e através de um documento de aplicação emitido pelo LNEC) que o valor da massa volúmica foi obtido segundo a *ISO 2811-1* [55], a mesma norma pela qual o presente estudo se baseou. Para o caso do produto H1, não existe indicação do método experimental utilizado na ficha técnica, podendo as condições de ensaio terem sido diferentes das do presente estudo, sendo este motivo uma possível causa para a diferença obtida entre os valores da massa volúmica obtida e apresentada na ficha técnica.

Tabela 4.1 - Massas volúmicas medidas experimentalmente e indicada nas fichas técnicas de cada produto.

Produto	Massa Volúmica Medida (valor médio) (g/cm³)	Desvio Padrão (g/cm³)	Massa Volúmica da Ficha Técnica (g/cm³)
H1	1,25	0,02	1,34 ± 0,05
H2	1,53	0,02	1,58 ± 0,05
H3	1,30	0,03	1,30 ± 0,03

Perante a Tabela 4.1 é possível verificar que o produto H2, à base de siloxano, apresenta uma maior massa volúmica que os restantes produtos de proteção (H1 e H2, tintas de base acrílica).

4.2.2 Resíduo seco

Este ensaio teve como objetivo analisar a perda de solvente ao longo do processo de secagem de cada produto de proteção. Na Tabela 4.2 observam-se as percentagens de solvente perdido (SP) ao fim de 24 h, 7 dias e 14 dias após o início do ensaio. Através dos resultados obtidos, é possível verificar que a maior perda de solvente acontece nas primeiras 24h, como era expectável. Particularmente para o

produto H2, é possível observar que a evaporação de todo o solvente se deu até ao sétimo dia após o início do ensaio. Nas restantes, H1 e H2, aos 14 dias ainda se encontra alguma variação da massa.

Tabela 4.2 - Percentagens total de solvente perdido (SP) ao fim de 24h, 7dias e 14 dias.

Produto	SP (%) ao fim de 24 h	SP (%) ao fim de 7 dias	SP (%) ao fim de 14 dias
H1	42,65	44,31	44,46
H2	29,08	29,42	29,42
H3	44,35	46,13	46,20

Na Figura 4.1 encontram-se as percentagens de solvente perdido e de teor de sólidos, após 14 dias para cada produto de proteção. Através do gráfico da Figura 4.1, observa-se que o produto H2 apresenta menor perda de solvente ($\approx 30\%$), e, conseqüentemente, maior teor de sólidos, quando comparados aos outros produtos. Os produtos H1 e H3, tintas de base acrílica, apresentam composições semelhantes, com cerca de 45% de solvente perdido.

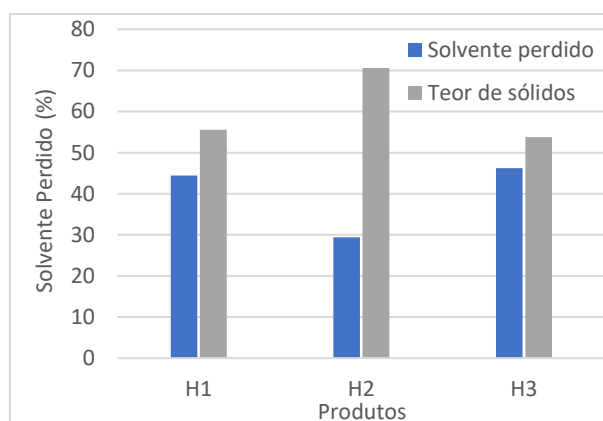


Figura 4.1 - Valores do solvente perdido e o respetivo teor de sólidos presente em cada produto em análise, aos 14 dias.

Os valores obtidos para o teor de sólido de H2 e H3 estão de acordo com as fichas técnicas dos respetivos produtos de proteção hidrofóbica. Para H2 o valor presente na ficha técnica para o teor de sólidos é $69 \pm 1\%$ e para H3 o valor indicado é $51 \pm 1\%$. Desta forma, encontra-se alguma validade no ensaio realizado. Para o produto H1 não existe indicação deste valor.

Na Tabela 4.3 apresentam-se os valores calculados para o resíduo seco (g/L) de cada produto.

Tabela 4.3 - Resíduo seco em g/L para cada produto de proteção hidrofóbica ensaiado, aos 14 dias.

Produtos	Resíduo seco (g/L)
H1	737
H2	1051
H3	729

Na Figura 4.2, podem ser observados os pratos de petri com a película seca de cada produto ao fim de 24h. Observa-se a formação de uma película homogénea em H1 e H3 (Figura 4.2a e c), no entanto, para H2 (Figura 4.2b), verifica-se que o filme se encontra com evidente fissuração mapeada superficial.

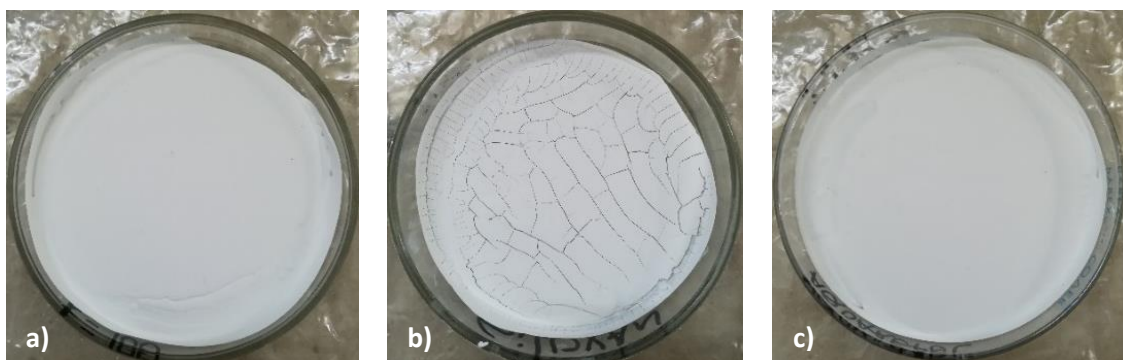


Figura 4.2 - Amostras do produto de proteção ao fim de 24 horas de ensaio. a) H1; b) H2 e c) H3. Os discos de petri utilizados apresentam um diâmetro variável de 72 a 90mm.

Uma possível justificação para o fenómeno de fissuração superficial observado é a utilização na composição da tinta de maior quantidade de inertes sem propriedades adesivas. De facto, o produto H2 apresenta a maior quantidade de sólidos (> 30% comparado aos outros produtos de proteção).

4.2.3 Microscopia ótica

Através da microscopia ótica foram analisadas as espessuras médias da camada de base e da camada de acabamento do sistema ETICS estudado e, ainda, as espessuras médias de cada película de produto aplicado como sistema de proteção hidrofóbica.

i) H0 - sistema ETICS sem proteção

O sistema ETICS estudado foi caracterizado de acordo com as fichas técnicas dos diversos componentes na secção 3.2.1 (p.21), na presente secção apenas se analisou as espessuras das camadas. Na Figura 4.3 encontram-se as microfotografias retiradas com auxílio da microscopia ótica.

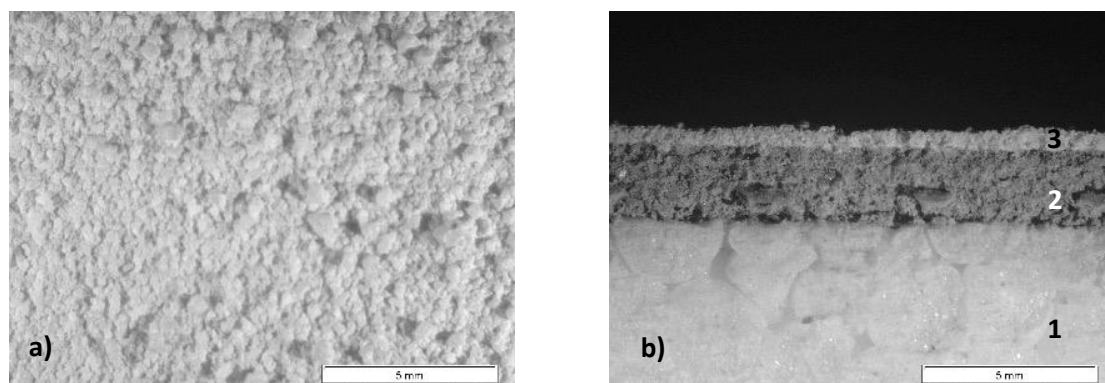


Figura 4.3 - Microfotografias do sistema ETICS estudado. a) camada de acabamento; b) Secção transversal do sistema; 1) camada de isolamento térmico (EPS); 2) camada de base; 3) camada de acabamento.

Na Tabela 4.4 encontram-se as espessuras médias medidas e respetivo desvio padrão. As microfotografias com as medidas obtidas através do sistema de aquisição de imagem *Olympus SC-30* com o *software Olympus LabSens* encontram-se no Anexo I.

Tabela 4.4 - Espessuras analisadas no microscópio do sistema ETICS em estudo.

Camada	Espessura média (mm)	Desvio padrão (mm)
De base	2,22	0,03
De acabamento	0,57	0,06

ii) Sistemas de proteção hidrofóbica

Na Tabela 4.6 são apresentadas as microfotografias da superfície com a aplicação de cada produto. Em comparação com o sistema sem produto de proteção (Figura 4.3), nota-se uma redução da rugosidade da superfície do sistema ETICS com a aplicação dos produtos, particularmente, para a superfície com aplicação de H3. No Anexo VI é possível consultar outras microfotografias mais pormenorizadas das superfícies em questão.

Na Tabela 4.5 encontram-se as espessuras médias da película de proteção medidas e respetivo desvio padrão. É de realçar que a espessura da película é bastante heterogénea, variando ao longo de toda a superfície, e apresenta uma espessura significativamente inferior, quando comparada à camada de acabamento do ETICS. Neste estudo, apenas se efetuou 3 medições numa secção transversal do sistema para cada produto. As microfotografias com as medições da espessura da película para cada produto encontram-se no Anexo I.

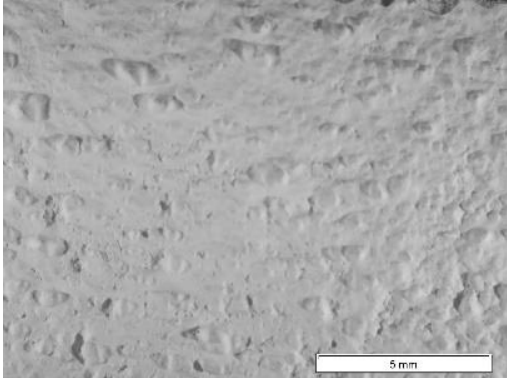
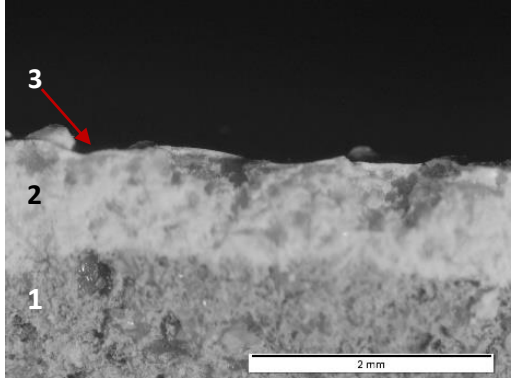
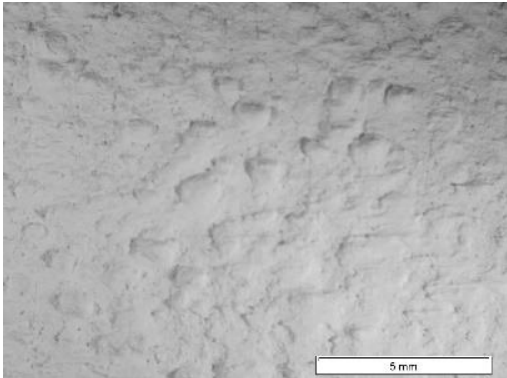
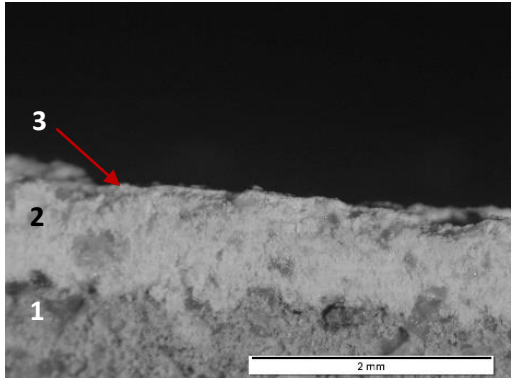
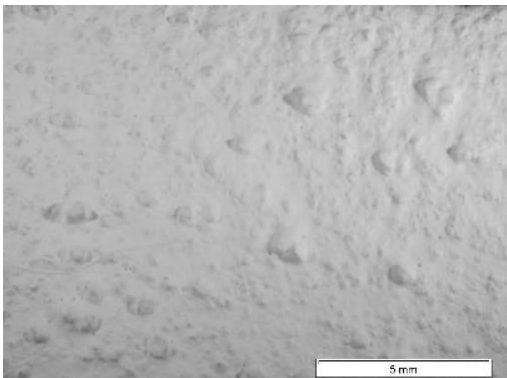
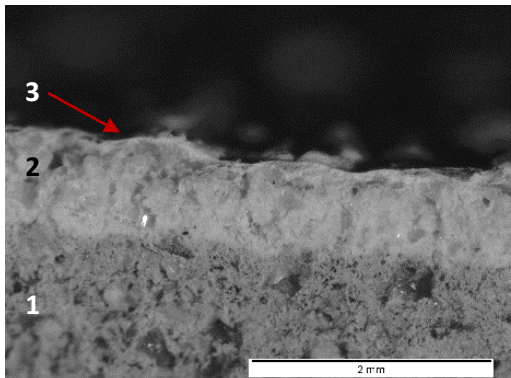
Tabela 4.5 - Espessuras médias e respetivo desvio padrão da película de proteção.

produto	Espessura médias da película de proteção (mm)	Desvio padrão (mm)
H1	0,07	0,03
H2	0,07	0,01
H3	0,05	0,01

4.2.4 Microscopia eletrónica de varrimento

Na Figura 4.4 apresentam-se as microfotografias obtidas pela técnica de microscopia eletrónica de varrimento (SEM) das superfícies do sistema ETICS sem proteção (Figura 4.4a) e com proteção (Figura 4.4b, c e d), numa escala de ampliação de 500x. O principal efeito observado após a aplicação dos produtos de proteção hidrofóbica é a regularização e homogeneização da superfície (como também constatado na microscopia ótica, Figura 4.3 e Tabela 4.6). Verifica-se também que os produtos H1 (Figura 4.4b) e H3 (Figura 4.4d), ambos de base acrílica, são semelhantes e não apresentam microfissuras. Por outro lado, o produto H2 (Figura 4.4c), tinta à base de resinas siloxânicas, apresenta uma morfologia distinta das restantes e, ainda, é possível observar algumas microfissuras no revestimento (neste caso numa escala micrométrica).

Tabela 4.6 - Microfotografias da camada de acabamento de cada sistema de proteção e espessuras. 1) Camada de base do sistema ETICS; 2) Camada de acabamento; 3) Película de proteção hidrofóbica.

Produto	Camada de acabamento	Secção transversal
H1		
H2		
H3		

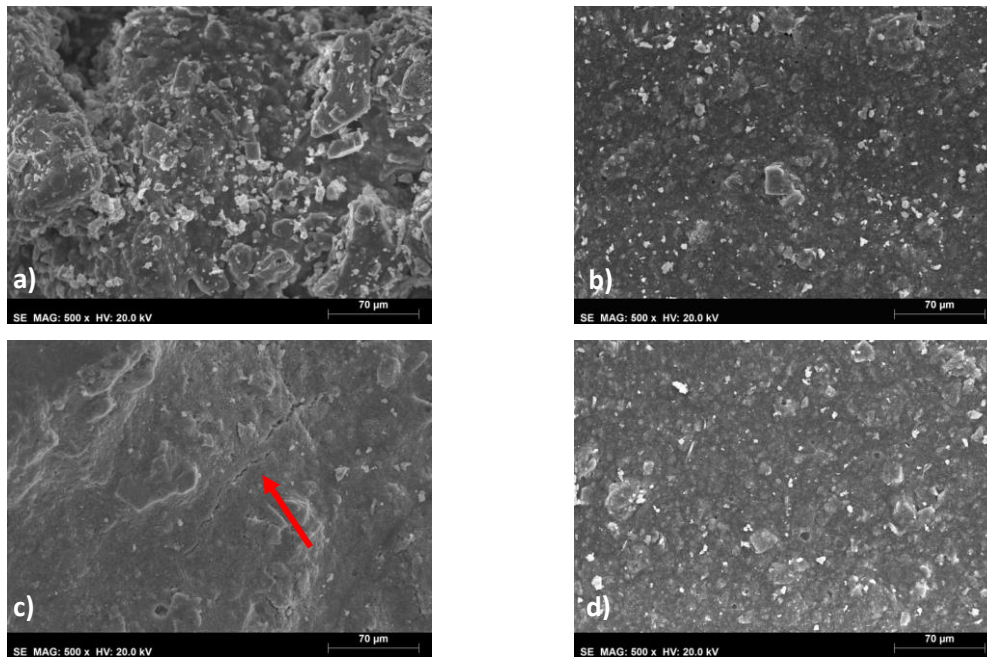


Figura 4.4 - Imagens de microscopia eletrônica de varrimento das superfícies em estudo. a) H0; b) H1; c) H2; d) H3; a seta em vermelho indica uma microfissura na amostra H2.

Nas superfícies apresentadas acima, foram realizadas análises elementares (principais elementos químicos presentes); os espectros EDS de cada superfície apresentam-se nas Figura 4.5, Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8.

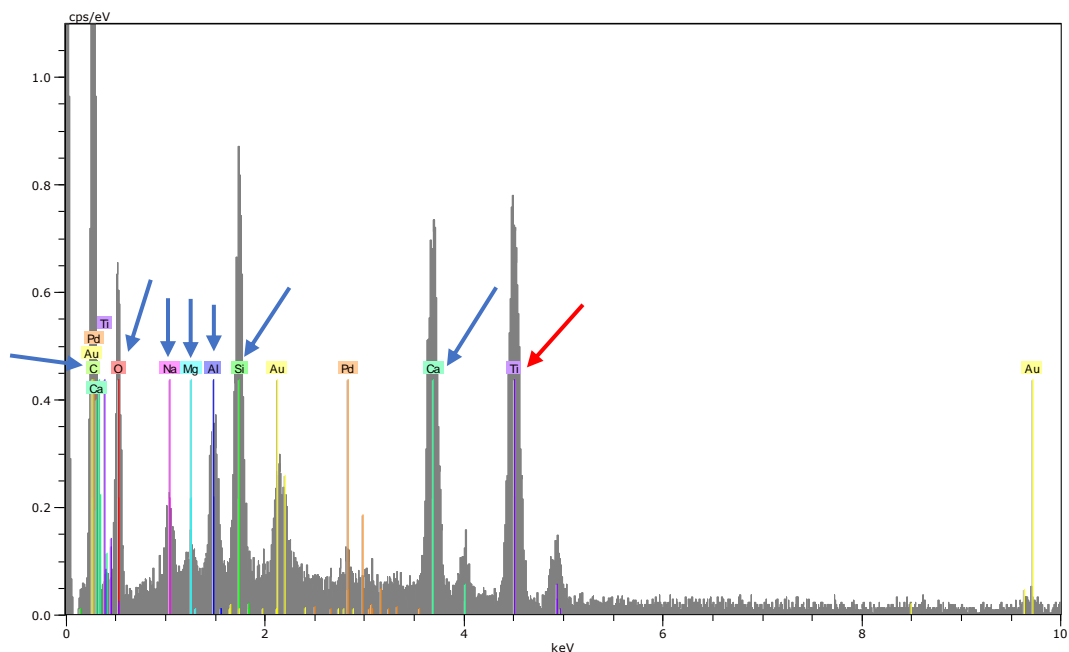


Figura 4.5 - Espectro EDS do sistema ETICS sem produto de proteção hidrofóbica (H0). As setas azuis indicam C, O, Na, Mg, Al, Si e Ca (por ordem da esquerda para a direita); a seta a vermelho indica o Ti.

Perante o espectro EDS da superfície do sistema ETICS sem produtos de proteção (Figura 4.5) é possível verificar que os principais componentes elementares presentes são silício (Si), titânio (Ti), cálcio (Ca), alumínio (Al), oxigénio (O), sódio (Na), magnésio (Mg) e carbono (C).

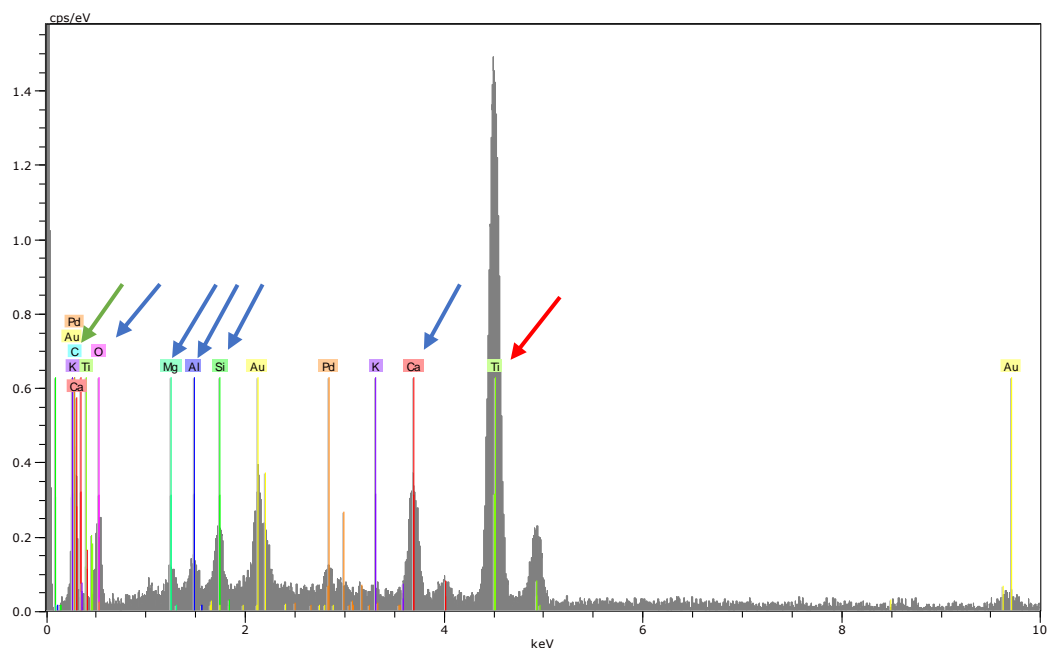


Figura 4.6 - Espectro EDS do sistema ETICS com H1 (dispersão aquosa 100% acrílica); as setas a azul indicam O, Mg, Al, Si e Ca (por ordem, da esquerda para a direita); a seta a verde indica C e a seta a vermelho indica Ti.

Diante da Figura 4.6, espectro EDS da superfície protegida com H1, de base acrílica, é possível verificar que o elemento que se apresenta com maior expressão é o titânio (Ti). Outros elementos que se distinguem também é o carbono (C) (que compõe o ligante acrílico da tinta), seguido de cálcio (Ca), silício (Si), alumínio (Al), magnésio (Mg), e oxigênio (O).

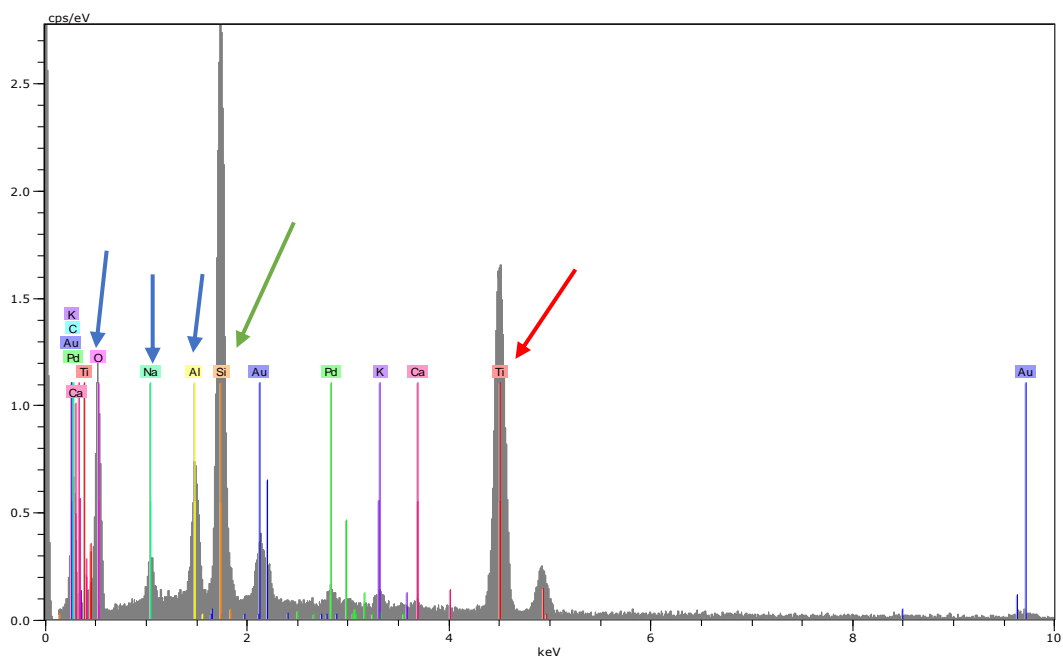


Figura 4.7 - Espectro EDS de sistema ETICS com H2 (Tinta à base de resinas siloxânica); as setas a azul indicam O, Na e Al (por ordem, da esquerda para a direita); a seta a verde indica Si e a seta a vermelho indica Ti.

No caso da superfície com H2 como sistema de proteção (Figura 4.7), o elemento com maior expressão é o silício (Si), como esperado uma vez que o produto de proteção é baseado em resinas siloxânicas. Contudo, também o titânio (Ti), alumínio (Al), oxigênio (O) e sódio (Na) apresentam alguma expressão. Nota-se que o titânio é presente em quantidade consideravelmente parecidas, quando comparado à Figura 4.6.

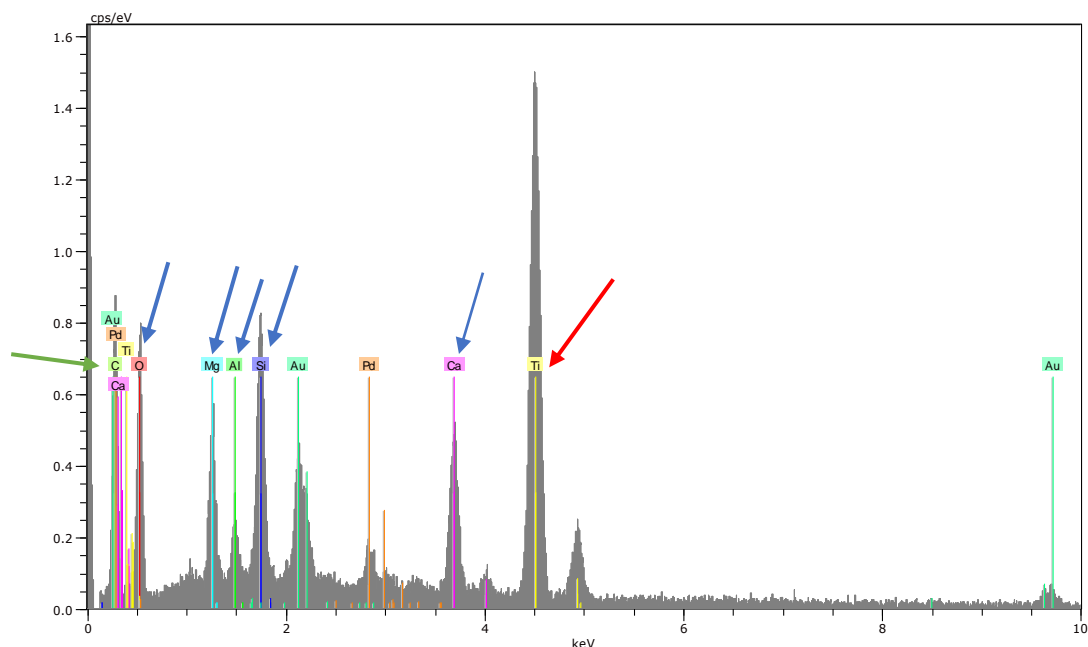


Figura 4.8 - Espectro EDS de sistema ETICS com H3 (dispersão aquosa 100% acrílica); as setas a azul indicam O, Mg, Al, Si e Ca (por ordem, da esquerda para a direita; a seta verde indica C e a seta vermelha Ti.

O espectro EDS observado na Figura 4.8, correspondente à superfície com H3 (de base acrílica) como sistema de proteção, indica que os elementos principais são titânio (Ti), cálcio (Ca), silício (Si), oxigênio (O), magnésio (Mg), carbono (C) (que compõe o ligante acrílico da tinta) e alumínio (Al). Quando comparado o espectro EDS da superfície revestida com H1 e H3, ambas tintas de dispersão aquosa 100% acrílica, é notório a presença dos mesmos elementos principais, contudo H3 apresenta maiores concentrações de silício (Si), oxigênio (O), magnésio (Mg) e alumínio (Al). Apesar das proporções entre elementos serem diferentes nos vários produtos de proteção, mais uma vez nota-se uma quantidade similar (1,5-1,6 cps/ev) de titânio (Ti) também neste produto, se comparados com os anteriores (Figura 4.6 e Figura 4.7).

Em síntese, todas as superfícies apresentam os mesmos elementos químicos, sendo o que as distingue as diferentes concentrações dos mesmos.

4.3 Caracterização do desempenho dos sistemas de proteção

Na presente secção serão apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios definidos para a caracterização de desempenho dos produtos de proteção hidrofóbica. Primeiramente, será analisado o desempenho inicial dos produtos e em seguida o desempenho após envelhecimento acelerado com ciclos higrotérmicos.

4.3.1 Avaliação da proteção inicial

4.3.1.1 Absorção de água por capilaridade

Na Figura 4.9 apresentam-se os valores médios de absorção de água por capilaridade aos 3 min, 1h, 4h, 8h e 24h de ensaio para cada produto estudado. Os resultados individuais do ensaio encontram-se no Anexo II.

Com a aplicação de um tratamento protetor hidrófugo, é expectável uma redução da absorção de água por capilaridade por parte da superfície tratada. Para a homologação do sistema, o guia europeu ETAG 004 [17] exige que o valor de absorção capilar após 1h de ensaios seja inferior a 1 kg/m². Perante a Figura 4.9, verifica-se que o sistema ETICS sem proteção (H0), cumpre o valor exigido, uma vez que o sistema apresenta um acabamento com características impermeáveis à água.

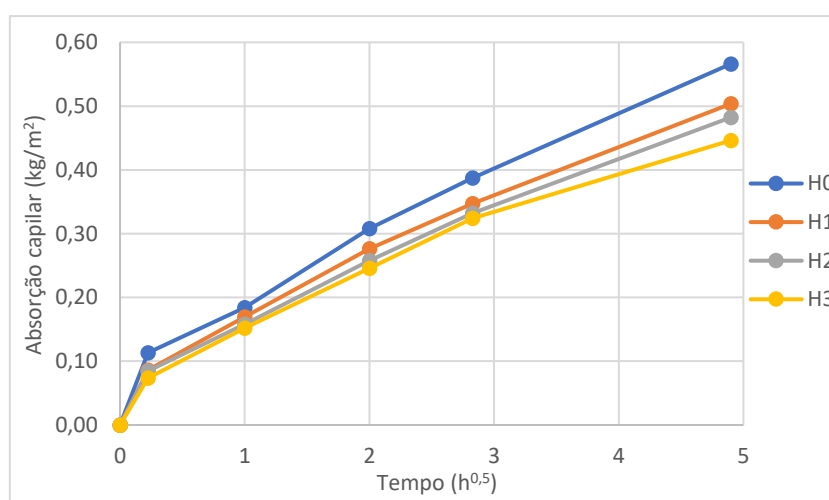


Figura 4.9 - Curvas de absorção de água por capilaridade.

Por outro lado, observando a Figura 4.9, verifica-se que todos os produtos de proteção hidrofóbica reduziram ligeiramente a absorção de água por capilaridade do suporte. O sistema que demonstrou menor absorção de água foi o sistema com aplicação do produto H3, mantendo sempre a curva de absorção abaixo das restantes, enquanto que o produto de proteção que resultou na absorção de mais água por capilaridade foi o H1. Contudo, as diferenças entre os três produtos são moderadas e o andamento das curvas é semelhante, mostrando que não houve uma alteração significativa da porosimetria.

Em relação ao coeficiente de capilaridade durante os primeiros 3 minutos, verificou-se que os sistemas de proteção H1, H2 e H3 induziram uma redução (Figura 4.10), relativamente ao sistema sem proteção (H0), de 24,2%, 25,2% e 35,3%, respetivamente (Tabela A.2, em Anexo).

O produto de proteção hidrofóbica H3 (dispersão aquosa 100% acrílica) exibiu a menor velocidade de absorção de água inicial, retratada pelo menor coeficiente de capilaridade aos 3 minutos, e menor quantidade de água absorvida ao longo do ensaio.

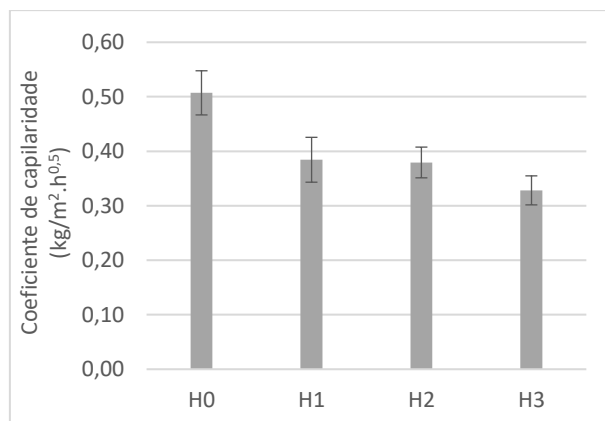


Figura 4.10 - Valores médios dos coeficientes de capilaridade aos 3 min e relativos desvios padrões.

No estudo de Esteves [34], onde se analisou a aplicação de impregnações hidrofóbicas em ETICS, verificaram-se absorções de água por capilaridade inferiores às obtidas no presente estudo com formadores de película. O sistema ETICS sem tratamento (em Esteves) apresentou uma absorção aos 60 min de ensaio de 0,35 kg/m² e com tratamento hidrófugo as absorções para o mesmo instante foram entre 0,02 e 0,05 kg/m².

Também no estudo de Silva et al. [30], em ETICS com silanos, as absorções obtidas no teste de capilaridade foram bastante inferiores às obtidas no presente estudo; na primeira hora de ensaio a absorção obtida foi de 0,05 kg/m² e às 24 h de 0,22 kg/m².

4.3.1.2 Cinética de secagem

Na Figura 4.11 apresentam-se as curvas de secagem, em função do tempo (Figura 4.11a) e em função da raiz do tempo (Figura 4.11b), ao longo da duração do ensaio (7 dias - 144h) para todos os produtos estudados. Os resultados individuais do presente ensaio encontram-se no Anexo III.

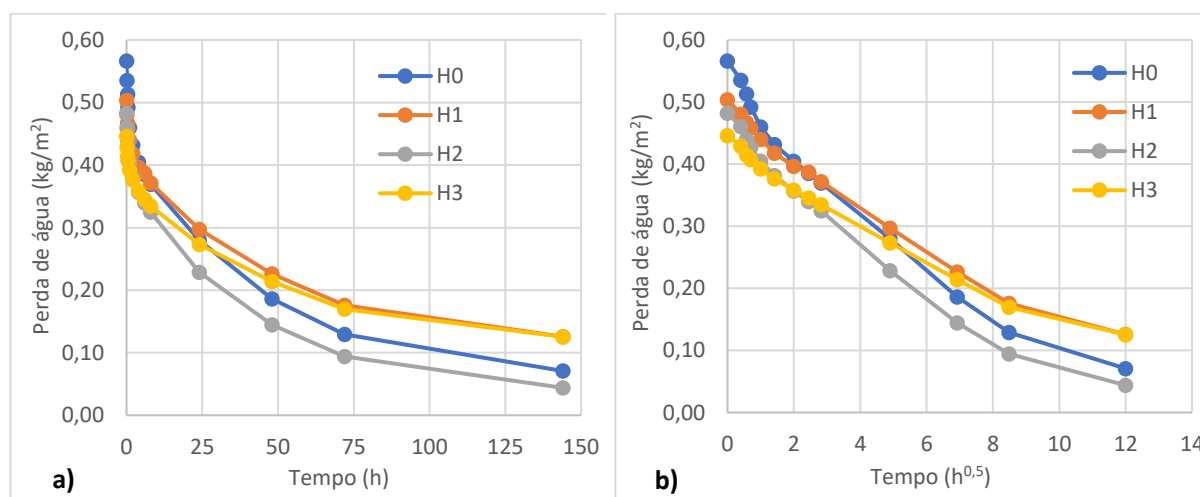


Figura 4.11 - Perda de água por secagem. a) em função do tempo; b) em função da raiz do tempo.

Perante os resultados obtidos (Tabela 4.7), verifica-se que com a aplicação dos produtos de proteção as velocidades de secagem diminuem, tanto na primeira fase de secagem como na segunda (step I e step II). Relativamente à velocidade inicial de secagem (TS1), que corresponde ao transporte de água líquida, verificou-se que os produtos de proteção H1, H2, e H3 provocaram, em relação ao sistema

ETICS sem proteção (H0), uma redução de 38,3%, 25,7% e 49,7%, respetivamente. Na fase seguinte (step II), que corresponde ao transporte de água em fase vapor, a redução induzida por H2 é pouco significativa, cerca de 2,8%, enquanto nos sistemas com aplicação de H1 e H3 observam-se reduções de 19,4% e 31,7%, respetivamente.

Tabela 4.7 - Resultados do ensaio de secagem inicial.

Sistema	Área de secagem (m ²)	TS1 (kg/m ² .h)	TS2 (kg/m ² .h ^{0,5})	Is	ΔTM (%)
H0	0,022	0,062	0,043	0,125	1,26
H1	0,022	0,038	0,035	0,249	2,06
H2	0,023	0,046	0,042	0,110	0,80
H3	0,023	0,031	0,030	0,280	2,32

Legenda: TS1 – Taxa de Secagem 1; TS2 – Taxa de Secagem 2; Is – Índice de Secagem; ΔTM – Variação total de massa (entre massa seca e a massa no final do ensaio).

Em relação à resistência à secagem do sistema (Is), parâmetro que permite avaliar a resistência total ao processo de secagem, verificou-se que os produtos H1 e H3 causaram um aumento de 99,3% e 123,7% em relação ao sistema ETICS sem proteção (H0), enquanto que o sistema de proteção H2 diminuiu 12,4%. Esta ligeira melhoria do comportamento global de secagem, representado pelo Is, do sistema com o produto H2 é visível no andamento das curvas observado nas Figura 4.11 a) e b).

Este valor do índice de secagem para H2, justifica-se pelo facto de o produto reduzir a absorção de água no suporte e não influenciar negativamente (ou seja, atrasar significativamente) o processo de secagem do sistema. A maior diferença ao nível da secagem observa-se na TS1, velocidade de secagem que corresponde ao transporte de água líquida, enquanto a TS2 mantém-se praticamente inalterada. Uma vez que a superfície com H2 absorve menos água que o sistema ETICS sem proteção e a cinética de secagem se mantém idêntica, a superfície atinge o estado seco mais rapidamente, resultando num índice de secagem inferior ao do sistema ETICS sem produto de proteção (H0), o que se pode comprovar pela variação total de massa no final do ensaio (ΔTM (%)) (Tabela 4.7). O sistema com H2, apesar da maior massa volúmica (*vide* secção 4.1.1, Tabela 4.1), apresenta a menor variação total de massa para a mesma duração de ensaio.

Em comparação, H3 é o que apresenta maior índice de secagem porque, apesar de ser o produto que apresenta menor absorção de água, é o que mais influencia negativamente no que toca às velocidades de secagem do suporte com uma redução de 49,7% na TS1 e de 31,7% na TS2, resultando num processo de secagem mais lento. Verifica-se, que para a mesma duração do ensaio, é o sistema que apresenta maior variação total de massa (ΔTM (%)) (Tabela 4.7).

Em síntese o produto de proteção hidrofóbica H2 (à base de siloxano) foi o único que não aumentou a resistência à secagem do sistema ETICS. Os restantes produtos, H1 e H3 (os dois de base acrílica), aumentaram a resistência à secagem do sistema ETICS para o dobro.

4.3.1.3 Permeabilidade à água sob baixa pressão – Tubos de Karsten

Na Figura 4.12 estão representadas as curvas com os valores médios da absorção de água sob baixa pressão obtidos aos 3min, 1h, 4h, 8h e 24h de ensaio, para cada produto analisado. Os resultados individuais e médios obtidos no respetivo ensaio apresentam-se no Anexo IV.

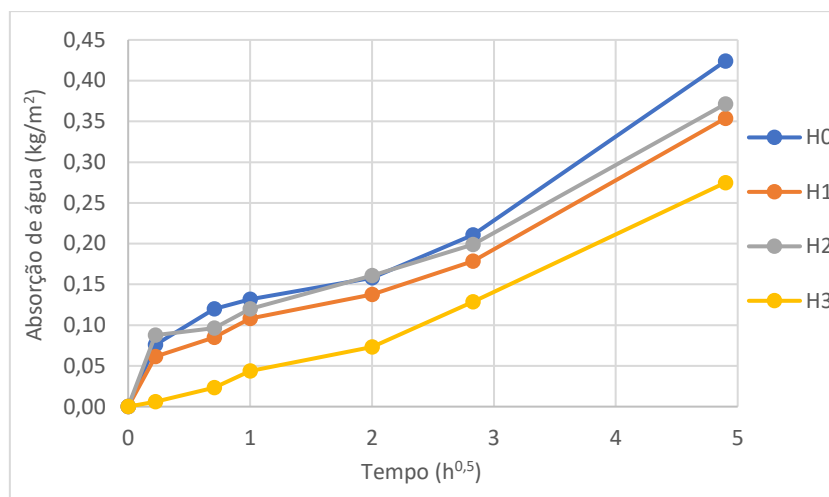


Figura 4.12 - Absorção de água sob baixa pressão – Tubos de Karsten.

Através da Figura 4.12, é possível considerar que o produto H3 foi o que apresentou melhor proteção à penetração de água, verificando-se que a curva de absorção de água sob baixa pressão desta superfície encontra-se no nível consideravelmente inferior às restantes, verificando-se a mesma tendência que no ensaio por capilaridade. O produto de proteção hidrofóbica H2 demonstrou um comportamento semelhante ao sistema ETICS sem proteção, apresentando apenas a partir das 8 h de ensaio uma menor absorção.

Através dos valores obtidos, verificou-se uma diminuição do coeficiente de absorção de água aos 60 min (Figura 4.13) de 17,8%, 8,9% e 66,7% para os ETICS com H1, H2 e H3, respetivamente, relativamente ao ETICS sem produto de proteção hidrofóbica (H0).

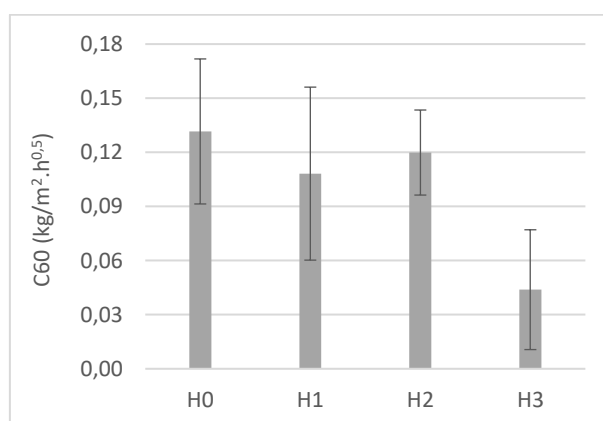


Figura 4.13 - Coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio.

Perante as curvas de absorção de água sob baixa pressão (Figura 4.12) e o coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio (Figura 4.13) é possível concluir-se que, à semelhança do que acontece no ensaio de absorção de água por capilaridade, o produto H3 é o que tem maior eficácia na proteção

do sistema ETICS à absorção de água sob baixa pressão. O produto H2, tinta à base de resinas de siloxano, apresentou um desempenho pouco significativo na proteção do sistema à absorção de água sob baixa pressão.

Tabela 4.8 - Absorções com tubos de Karsten aos 60 min e 24h, coeficiente aos 60 min (C60) e respetivo desvio padrão.

Produtos	Absorção (cm ³)		C60 (kg/m ² .h ^{0,5})	Desvio padrão
	60 min	24h		
H0	0,08	0,24	0,132	0,040
H1	0,06	0,20	0,108	0,048
H2	0,07	0,21	0,120	0,024
H3	0,03	0,16	0,044	0,033

Para o ETICS em estudo sem proteção (H0) obteve-se uma absorção aos 60 min de ensaio de 0,075 cm³ (Tabela 4.8). Para o ETICS com proteção H1, H2 e H3 as absorções, para o mesmo instante, foram de 0,06, 0,07 e 0,03 cm³, respetivamente. Esteves [34], obteve absorções para o sistema ETICS sem tratamento de 0,48 cm³ e a menor absorção obtida foi de 0,10 cm³ para o ETICS com aplicação de uma impregnação hidrofóbica nanoestruturada à base de silício e dióxido de titânio. Verificando-se menores absorções de água sob baixa pressão no presente estudo quando comparado com o estudo de Esteves. Curiosamente, observa-se uma tendência contrária ao ensaio de absorção de água por capilaridade, onde se verificou absorções inferiores em Esteves. Desta forma, não é possível compreender qual dos mecanismos de hidrófugação (formador de película ou impregnação) apresenta melhor desempenho hidrorrepelente em ETICS.

Em Silva et al. [30] no ensaio com tubos de Karsten em sistema ETICS com silanos apenas existe a indicação que aos 180 min a absorção foi inferior a 0,5 cm³. Também em comparação com este caso, a aplicação de tintas como sistema de proteção hidrofóbica do ETICS permitiu maiores absorções por capilaridade e absorções inferiores com tubos de *Karsten*, as absorções foram sempre muito inferiores a 0,5 cm³ em todo o ensaio (às 24 h a máxima absorção obtida foi de 0,37 cm³) (Tabela 4.8).

4.3.1.4 Ângulo de contacto estático

Na Figura 4.14 encontram-se os valores do ângulo de contacto obtidos para os sistemas, de referência e tratados com produtos de proteção hidrofóbica, e na Figura 4.15 encontram-se as microfotografias da gota de água em cada superfície.

Através dos resultados obtidos, observa-se um aumento dos valores do ângulo de contacto para os sistemas com os produtos H2 e H3 de 54,3% e 16,1%, respetivamente, em relação ao sistema sem proteção. Para a superfície com aplicação de H1 observa-se uma redução desse mesmo ângulo (32,7%).

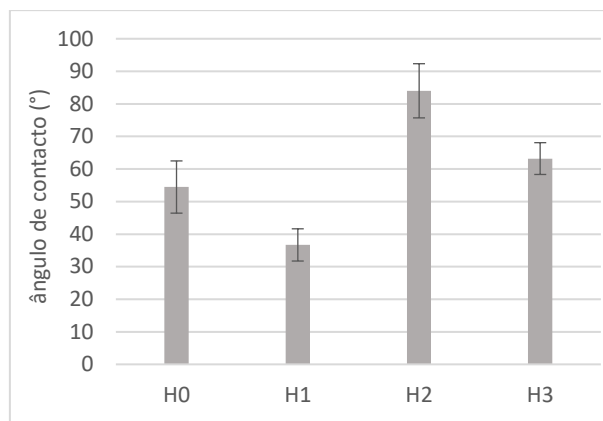


Figura 4.14 - Ângulos de contacto obtidos para o desempenho inicial.

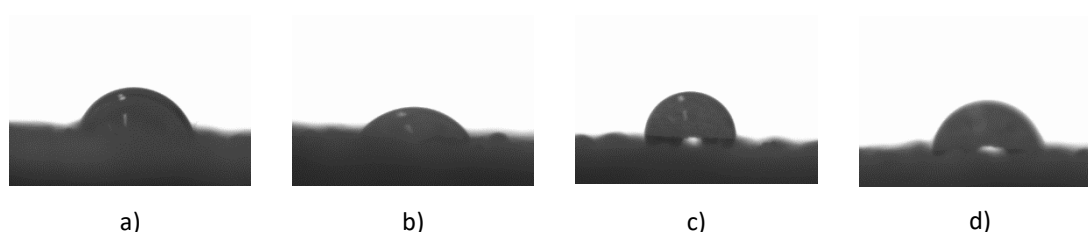


Figura 4.15 - Microfotografias do ângulo de contacto nas superfícies estudadas; a) H0; b) H1; c) H2 e d) H3.

Uma das causas possíveis para a diminuição do ângulo de contacto na superfície com H1 está relacionada com a composição química do produto. A tinta H1 (dispersão 100% acrílica) é um produto genérico, não sendo especificado que apresenta propriedades hidrorrepelentes nas fichas técnicas do mesmo. Desta forma, a aplicação de H1 pode conferir maiores propriedades hidrofílicas à superfície (por exemplo, por maior adição de aditivos não poliméricos, tais como inertes ou pigmentos) e por esta razão diminuir o ângulo de contacto, aumentando a molhabilidade da superfície.

De facto, os produtos acrílicos podem ser constituídos por diversos monómeros, onde cada um tem as suas características específicas [46]. Sendo desta forma possível criar (co)polímeros acrílicos com propriedades hidrofílicas ou hidrofóbicas.

Sabatini et al. [52], desenvolveram revestimentos poliméricos de monómeros de metacrilatos de metila e estearila (MMA e STEA, respetivamente) e analisaram qual a influência da quantidade de STEA nas propriedades de proteção do revestimento aplicado em argamassas. Os ângulos de contacto variaram entre 75° e 88°, consoante a quantidade de STEA variou de 1% para 5% mol/mol em relação ao MMA. No entanto, também as absorções de água apresentaram a mesma tendência, a absorção foi reduzida consoante o teor de STEA.

Para as superfícies do sistema ETICS com aplicação de H2 e H3 verificou-se um aumento do ângulo de contacto, no entanto, os ângulos de contacto não atingiram o limite de hidrofobicidade (90°).

Uma das hipóteses que explica os valores reduzidos do ângulo de contacto para as tintas acrílicas (H1 e H3), está relacionada mais uma vez com a composição química do polímero. Por exemplo, Bader et al. [44] analisaram o desempenho de um formador de película acrílica aplicado em dois betões de alto desempenho (HPC). Os ângulos de contacto obtidos foram 85° e 89°. No estudo foi afirmado que estes

valores podem ser explicados pelas características das funcionalidades químicas detetadas por espectroscopia FTIR. A estrutura química do formador de película (grupo éster funcional) contém grupos laterais compostos por ligações C-H de carácter apolar e ligações C-O e carbonila C=O de carácter polar, formando um dipolo que parece ser responsável pelo aumento menor do ângulo de contacto.

Uma outra hipótese que pode justificar os valores de ângulos de contacto inferiores a 90° (para todos os produtos analisados) é a presença de dióxido de titânio na composição do produto.

O dióxido de titânio (TiO₂) é bastante utilizado na formulação de tintas e outros produtos de proteção pelas suas características de autolimpeza. Este efeito de autolimpeza resulta das suas propriedades hidrofílicas e fotocatalíticas. As propriedades hidrofílicas evitam que a sujidade adira ao substrato tratado através da formação de um filme de água uniforme sobre a superfície sólida, enquanto a fotocatalise pode decompor a maioria dos poluentes orgânicos e inorgânicos em contacto com a superfície revestidas sob radiação UV [68].

Na ficha técnica e de segurança dos produtos (tanto do acabamento do sistema ETICS como de cada produto) é mencionado a presença, na sua formulação, de dióxido de Titânio; a quantidade notável de TiO₂ comprova-se também através dos espetros EDS obtidos (Figura 4.5, Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8), tendo o fabricante procurado um provável equilíbrio entre hidrorrepelência (polímeros com características hidrofóbicas) e autolimpeza (Dióxido de titânio com características hidrófilas), particularmente para os produtos H2 e H3 que são especificados por terem propriedades hidrorrelentes e de autolimpeza. Relativamente ao produto H1, o TiO₂ pode ter uma certa influência no ângulo, contudo outras causas podem estar relacionadas.

Na verdade, o valor do ângulo de contacto depende, não só do tipo de polímero utilizado, mas também da concentração do ligante e dos aditivos adicionados à formulação das tintas.

No estudo de Féat et al. [69], foram analisados os ângulos de contacto de tintas acrílicas com diferentes concentrações de pigmento em volume (PVC) e diferentes quantidades de partículas de TiO₂ e CaCO₃. Neste estudo verificou-se que o ângulo de contacto do revestimento acrílico poderia tomar valores entre 53° e 102°.

Jiang et al. [70], verificaram no seu estudo com um revestimento de resina acrílica modificada com pré polímeros de silicone e nanopartículas de TiO₂ e SiO₂ que o ângulo de contacto primeiro aumenta e depois diminui com o aumento da quantidade de nanopartículas. O maior ângulo obtido foi de 108,4° para um revestimento com 3% em peso de nanopartículas de TiO₂ e SiO₂, para percentagens superiores de nanopartículas os ângulos de contacto começaram a reduzir. Esta redução observada justifica-se porque a adição de nanopartículas afeta diretamente a rugosidade da superfície do revestimento, o que afeta consequentemente os valores do ângulo de contacto. Quando o conteúdo do nanocompósito continua a aumentar, a dispersão das nanopartículas deixa de ser uniforme e o revestimento torna-se mais heterogéneo, resultando numa diminuição do ângulo de contacto.

Na literatura, o siloxano caracteriza-se pelo sua elevada hidrofobicidade, com ângulos de contacto >100° [45]. No entanto, no presente estudo o ângulo obtido para o produto à base de siloxano (H2) foi

reduzido (<90°). A possível justificação para o valor obtido pode estar relacionada com o fator mencionado no parágrafo anterior. De facto, no ensaio do resíduo seco (*vide* secção 4.2.2.) verificou-se que este produto apresentava um teor de sólidos significativo, que pode resultar da adição de maior quantidade de partículas que tornam o revestimento mais heterogéneo.

Em síntese, os valores para os ângulos de contacto das superfícies podem ser reduzidos tanto pela incorporação na formulação dos produtos de TiO₂ (que se apresenta em quantidade notável, ou seja entre 10 e 25% do total de massa, como especificado nas fichas de segurança dos produtos), pelas suas propriedades hidrofílicas ou pelos efeitos que causa na rugosidade da superfície, por propriedades químicas específicas do polímero utilizado bem como da concentração de pigmentos em volume.

Contudo, os valores dos ângulos de contacto obtidos não se encontram em conformidade com os ensaios anteriores (absorção por capilaridade e sob baixa pressão). Particularmente para a superfície com aplicação de H1, que apresenta um ângulo de contacto inferior ao sistema sem proteção, nos ensaios anteriores observa-se uma redução da absorção de água. Também o produto H2 é a que evidencia um maior ângulo (84°), no entanto, nos ensaios anteriores o produto H3 é o que mais se destaca com absorções menores.

4.3.1.5 Permeabilidade ao vapor de água

Na Tabela 4.9 apresentam-se os resultados médios de permeância (Λ), permeabilidade ao vapor de água (W_{vp}), coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) e espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d), para os sistemas completos com e sem a aplicação dos produtos de proteção. Os resultados individuais do ensaio encontram-se no Anexo V.

Tabela 4.9 - Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água dos sistemas com e sem proteção.

sistema	Área (m ²)	Espessura do sistema (m)	Λ (kg/m ² .s.Pa)	W_{vp} (kg/m.s.Pa)	μ	Desvio padrão	S_d (m)	Desvio padrão (m)
H0	0,0041	0,0429	8,67E-11	3,71E-12	43,84*	0,10	1,87*	0,01
H1	0,0041	0,0428	1,04E-10	4,44E-12	43,65	0,12	1,87	0,01
H2	0,0042	0,0427	1,08E-10	4,63E-12	42,10	2,95	1,80	0,13
H3	0,0042	0,0428	9,13E-11	3,90E-12	50,04	3,90	2,14	0,18

* O valor do provete H0.3 não foi considerado

Perante os resultados médios obtidos, verifica-se que os produtos de proteção H1 e H2 mantêm praticamente o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ) do sistema ETICS (H0), observando até uma melhoria de 4% em termos de permeabilidade com aplicação de H2. O produto H3 foi o único que causou maior resistência à difusão do vapor de água com um aumento de 14,2% do μ em relação ao sistema ETICS sem proteção.

É necessário realçar que os valores médios obtidos para o H0 foi apenas considerando valores de dois provetes, ao contrário dos restantes produtos, em que se utilizou para o cálculo três. Observando os resultados individuais do ensaio, apresentados no Anexo V (Tabela A.14), verifica-se que o valor de μ para o provete H0.3 é o dobro dos restantes da mesma tipologia, concluindo que ocorreu um erro analítico não controlável nesse provete. Uma vez que os provetes H0.1 e H0.2 apresentavam valores

semelhantes com um baixo desvio padrão, e não sendo possível a repetição do ensaio, considerou-se mais adequado fazer a análise global apenas com estes dois provetes.

Tabela 4.10 - Resultados de μ do ensaio de permeabilidade ao vapor de água do isolante térmico (EPS) e S_d das camadas de acabamento.

sistema	μ do EPS	Desvio Padrão	S_d EPS (m)	Desvio padrão (m)	S_d camadas de acabamento (m)	Desvio Padrão (m)
H0					0,35*	0,02
H1	39,07	3,11	1,53	0,01	0,34	0,01
H2					0,26	0,11
H3					0,62	0,18

*O valor do provete H0.3 não foi considerado

De forma a verificar que os sistemas cumprem os requisitos impostos pelo ETAG 004 [17], foi ensaiado igualmente o isolamento térmico do sistema ETICS estudado. Na Tabela 4.10, apresentam-se os valores de μ obtidos para o isolamento (EPS) e, ainda, os resultados de S_d para as camadas de acabamento (camada de base e acabamento), que resultaram da subtração dos valores de S_d obtidos para o sistema completo pelos valores de S_d obtidos para o isolante. Como se verifica na Tabela 4.10, todos os resultados para a camada de acabamento de cada tipologia cumprem o valor exigido pelo ETAG para a camada de ar de difusão equivalente, inferior a 2 m (no caso de sistemas com EPS como isolante térmico).

No presente ensaio, o produto de proteção H2 (à base de siloxano) apresenta a menor influência na permeabilidade ao vapor de água do sistema ETICS e o menor coeficiente de resistência ao vapor de água. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos para o ensaio de secagem onde o mesmo produto apresentou menos influência na taxa de secagem 2, que expressa o transporte de água em fase de vapor no sistema.

O melhor desempenho do produto H2 nestes dois parâmetros, permeabilidade ao vapor de água e taxa de secagem 2, pode resultar das diferenças entre polímeros (siloxano e acrílico), como microestrutura de polímero, densidade de reticulação e morfologia [47].

O siloxano é um composto silicónico constituído por curtas cadeias de átomos de silício (3 a 8 átomos). Consoante o número de átomos de silício, os siloxanos são designados de oligómeros, se o número de monómeros (n) variar entre 2 e 4, ou poliméricos, se n varia entre 4 a 8 (Figura 4.16). O tamanho molecular dos siloxanos pode ir até aos 7,5 nm [38]. De facto, devido às ligações químicas dos siloxanos serem muito longas, o espaço entre o átomo de silício e o de oxigénio acoplado é maior do que uma molécula de água individual (0,35 nm [38]), o que permite a passagem do vapor de água (quando as pontes hidrogénios não conseguem manter as moléculas de água ligadas, formando um líquido) pelo polímero. Ao mesmo tempo este composto é muito repelente à água líquida (que é bastante polar, pela presença dos grupos OH⁻) devido aos grupos orgânicos apolares presentes na sua estrutura [71].

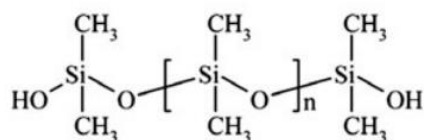


Figura 4.16 - Estrutura química do polidimetilsiloxano (PDMS) (adaptado de [28]).

Para além do tipo de polímero, também outras características das tintas como o teor de ligante, o tamanho e a geometria do pigmento têm influência na permeabilidade a vapor de água das películas de proteção [72].

Topçuoğlu et al. [72] verificaram que a permeabilidade de tintas acrílicas de base aquosa, contendo diferentes teores de ligante, diminuía drasticamente com o aumento do teor de ligante. Este comportamento foi explicado pela formação de uma estrutura porosa, à medida que o teor de ligante diminuía de 40% para 10%. Também se verificou que as tintas com menor teor de ligante (10 e 20%) apresentaram maiores desvios padrão. Isso justifica-se principalmente pela estrutura heterogénea desses filmes devido à distribuição desigual dos pigmentos e cargas.

Devido à complexa formulação, possibilidade de escolha do tipo de ligante, do tipo de aditivos e pigmentos, bem como as suas quantidades na formulação e a sua distribuição na película de tinta criada no substrato, é difícil atribuir uma hipótese válida que justifique as diferenças de desempenho observadas no presente estudo, entre os três hidrófugos analisados.

Uma das principais diferenças apontada entre um formador de película, como as tintas utilizadas neste estudo, e uma impregnação hidrófuga é o facto do primeiro provocar maiores alterações na permeabilidade ao vapor de água, reduzindo a porosidade do suporte [44] (a nível de micróporos com dimensões sub-micrométricas). No entanto, neste estudo, à exceção da superfície com aplicação de H3 (aumento de 14% do valor de μ em relação a H0), com a aplicação dos produtos de proteção a permeabilidade ao vapor de água do suporte manteve-se praticamente inalterada, apresentando até uma melhoria (0 a 4%) para H1 e H2. Comparando os resultados obtidos no presente estudo com os obtidos na dissertação de mestrado de Esteves [34], onde se utilizou 3 impregnações hidrófugas (uma dispersão nanoestruturada à base de silício e dióxido de titânio, um silano/siloxano oligomérico e um siloxano) em sistemas ETICS, verifica-se que não existem diferenças significativas nos efeitos na permeabilidade ao vapor de água dependente do tipo de produto (impregnação ou formador de película). Com as impregnações hidrófugas obteve-se variações no valor de μ de 4 a 21%, sendo a dispersão nanoestruturada à base de silício e dióxido de titânio a que maior variação provocou no estudo de Esteves. Contudo, é necessário realçar que o sistema ETICS utilizado em Esteves não é o mesmo utilizado na presente dissertação. O coeficiente à resistência à difusão de vapor de água (μ) obtido para o sistema sem hidrófugo, em Esteves, foi 51,22 com um desvio padrão correspondente a 2,73, enquanto no presente estudo o μ obtido foi de 43,8 com um desvio padrão de 0,10.

4.3.1.6 Suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

Sendo a suscetibilidade ao crescimento de microrganismos uma desvantagem que tem sido atribuída ao sistema ETICS, foi avaliada a resistência aos bolores de todos os acabamentos estudados (H0, H1, H2 e H3).

Os resultados mostram que ao longo das 4 semanas de ensaios não foi observado qualquer desenvolvimento para nenhum dos sistemas, com ou sem proteção, sendo a classificação atribuída igual a zero para todos os provetes em todas as fases do ensaio (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 - Classificação visual de crescimento de bolores nas superfícies dos provetes.

Semana	1			2			3			4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
H0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Legenda: 0 = sem crescimento; 1 = menos de 10% da superfície do provete com crescimento; 2 = entre 10 a 30%; 3 = entre 30 a 60 %; 4 =superior a 60%.

As fichas técnicas ou de segurança dos produtos, da camada de acabamento do sistema ETICS (H0) e dos produtos de proteção (H1, H2 e H3) utilizados, especificam a existência de um ou mais biocidas nas suas composições. Perante os resultados obtidos, é possível considerar que, nas condições de ensaio e antes do envelhecimento, todos os acabamentos controlaram com eficácia o desenvolvimento de bolores nas superfícies do sistema, não se verificando nenhuma alteração com a aplicação dos produtos de proteção (H1, H2 e H3).

4.3.1.7 Síntese dos resultados da proteção inicial

Ao analisar os ensaios individualmente, verificou-se que todos os produtos de proteção hidrofóbica reduziram a absorção de água por capilaridade, com reduções do coeficiente de capilaridade aos 3 min (Cc) entre 25 e 35%. O produto H3 (de base acrílica) foi o que mais se destacou, com absorções sempre inferiores aos demais. No ensaio de absorção de água sob baixa pressão com tubos de *Karsten*, os produtos H1 e H3 (ambos de base acrílica) diminuíram a absorção de água, destacando-se (conforme na capilaridade) o H3. Neste mesmo ensaio, o produto H2 apresentou um desempenho inferior aos restantes produtos de proteção, mantendo o sistema com absorções de água muito semelhantes às do sistema sem proteção.

Relativamente à secagem, os produtos H1 e H3 (de base acrílica), apesar de absorverem menos água, atrasaram o processo de secagem, com um aumento do índice de secagem (IS) do sistema ETICS de 99 e 124%, respetivamente. O produto H2 (à base de siloxano) foi o único que não aumentou a resistência à secagem do ETICS tendo-se observado até uma melhoria de 12,4% no IS. De facto, o produto H2 foi o que menos efeitos negativos teve nas taxas de secagem (TS1 e TS2), mantendo praticamente inalterada a TS2.

Como era esperado, a taxa de secagem 2 (TS2) encontra-se de acordo com o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ). As superfícies que apresentam maiores velocidades de evaporação de

água apresentam menores μ , como seria expectável. Também no ensaio de permeabilidade ao vapor de água o produto H2 apresentou o melhor desempenho. Na verdade, com a aplicação dos produtos a permeabilidade ao vapor de água não foi significativamente afetada, com aplicação de H1 e H2 observou-se até uma melhoria (0,4 e 4%, respetivamente inferior ao valor de μ do sistema ETICS sem proteção (H0). Com a aplicação de H3 a permeabilidade ao vapor de água reduziu ligeiramente (μ aumentou em 14%).

Com a aplicação de um sistema de proteção hidrorrepelente é expectável uma redução da absorção de água e um aumento do ângulo de contacto na superfície protegida. No entanto, no presente estudo, apesar de se verificar uma redução da absorção de água tanto por capilaridade como sob baixa pressão, observou-se um aumento do ângulo de contacto de até cerca de 54% com a aplicação dos produtos H2 e H3 e uma redução cerca de 33% com a aplicação da tinta H1. As variações do ângulo de contacto podem estar associadas a diversos fatores, os mais prováveis que se aplicam a este estudo são a química do polímero, a presença de TiO_2 na composição dos produtos de proteção (que tem propriedades hidrofílicas e é utilizado para efeitos de autolimpeza) e a quantidade de partículas adicionadas às formulações dos produtos, que quanto maior menor ângulo de contacto, como visto anteriormente.

A relação entre o ângulo de contacto e a absorção de água esperava-se que fosse linear, quanto maior o ângulo mais impermeável deveria ser a superfície. No entanto, no presente estudo, isso não se verifica particularmente para a superfície com aplicação de H1, visto que o ângulo diminui em relação à superfície sem proteção, mas a absorção de água, tanto capilar como com tubos de *Karsten*, é reduzida.

Assim, considera-se que a correlação entre a absorção de água e o ângulo de contacto de um revestimento não é sempre linear e pode ser variável.

4.3.2 Avaliação da durabilidade dos sistemas de proteção

De forma a avaliar os efeitos da durabilidade nos sistemas de proteção utilizados, submeteu-se, como especificado no capítulo 3, um conjunto de provetes a ciclos de envelhecimento artificial acelerado (calor-gelo e chuva-gelo). Após envelhecimento, os provetes foram analisados visualmente e a microscópio ótico; as imagens obtidas através do microscópio ótico, antes e após envelhecimento, encontram-se no Anexo VI.

O sistema ETICS sem proteção não mostrou visualmente efeitos de envelhecimento. No entanto, através da observação ao microscópio ótico a superfície parece apresentar algumas partículas do acabamento mais soltas, o que pode ser uma consequência dos ciclos de chuva-gelo (simulação de chuva e $T = -15^\circ\text{C}$) que provocaram a lixiviação ou destaque de algumas partículas (Figura 4.17a).

O produto de proteção H1, apresentou, após envelhecimento artificial acelerado, maior quantidade de microporos e também evidenciou algumas microfissuras ao longo da película de tinta (Figura 4.17b). Também o produto de proteção H3 demonstrou um comportamento similar a H1, ambas de base acrílica, com maior quantidade de microporos na superfície e algumas microfissuras (Figura 4.17d).

Finalmente, a superfície protegida com H2, à base de resinas siloxânicas, evidenciou maior quantidade de microfissuras (Figura 4.17c)

Microfotografias mais pormenorizadas das superfícies, antes e após envelhecimento, encontram-se no Anexo VI.

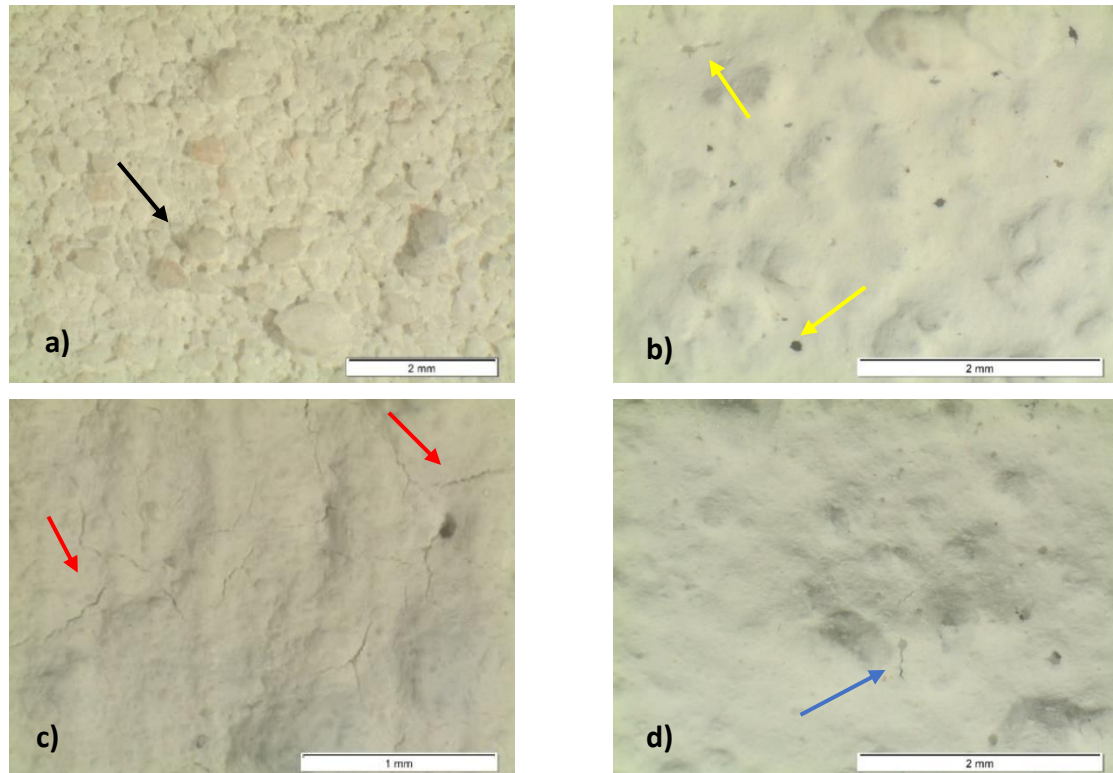


Figura 4.17 - Microfotografias das superfícies após envelhecimento artificial. a) H0 (sistema ETICS sem proteção), a seta a preto indica as partículas soltas; b) H1, as setas amarelas indicam microfissuras e micróporos; c) H2, a seta a vermelho indica as microfissuras; d) H3, a seta a azul indica um micróporo com microfissura.

Do ponto de vista macroscópico, em todas as superfícies analisadas (H0, H1, H2 e H3), não foram observadas nenhuma anomalias (p.ex. fissuração, alteração cromática de cor, etc.).

Para além da análise visual e a microscópio ótico, foram realizados os mesmos ensaios usados para a análise do desempenho inicial. Os resultados obtidos encontram-se nas secções seguintes.

4.3.2.1 Absorção de água por capilaridade

Na Figura 4.18 apresentam-se os coeficientes de capilaridade obtidos para cada superfície estudada (H0, H1, H2 e H3), antes e após envelhecimento artificial acelerado. Os resultados individuais do ensaio após envelhecimento encontram-se no Anexo II.

Relativamente à absorção de água por capilaridade, observou-se, para todos os sistemas, com e sem proteção, que após envelhecimento acelerado o coeficiente de capilaridade aos 3 minutos reduziu em comparação com os resultados obtidos para o desempenho inicial. Para o ETICS sem proteção (H0) verificou-se uma redução de 55,1% e para H1, H2 e H3 as reduções foram também na ordem dos 53,4%, 52,8% e 69,9%, respetivamente.

Os valores de absorção de água por capilaridade ao longo do ensaio foram também bastante inferiores aos obtidos no desempenho inicial, como é possível observar através das curvas de absorção representadas na Figura 4.19. Às 24 h de ensaio, o valor obtido no desempenho inicial foi de 0,57 kg/m² para H0, enquanto após envelhecimento foi de 0,24 kg/m². Do mesmo modo, os produtos de proteção apresentaram, após envelhecimento, absorções de água no final do ensaio de 0,12, 0,11 e 0,09 kg/m², ao passo que, inicialmente as absorções às 24 h eram de 0,50, 0,48 e 0,45 kg/m² para H1, H2 e H3, respetivamente.

Após envelhecimento, os produtos de proteção continuam a ser eficazes na proteção da superfície à água com valores de absorção inferiores ao sistema sem proteção (Figura 4.19).

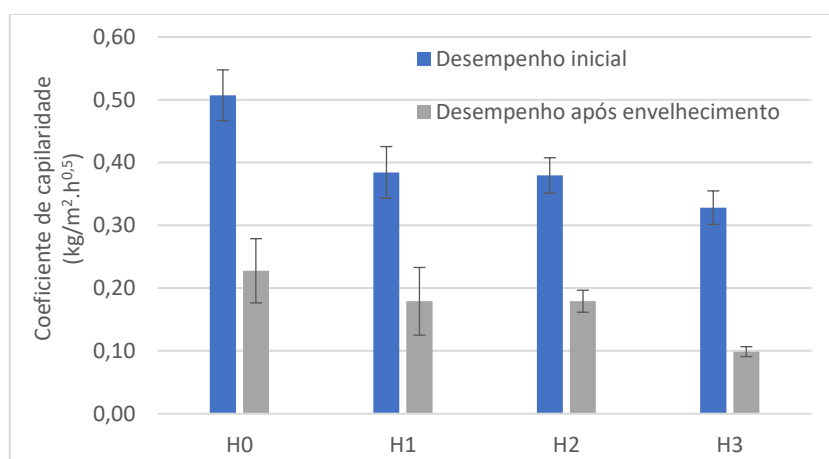


Figura 4.18 - Comparação do coeficiente de capilaridade aos 3 min inicial e após envelhecimento artificial acelerado.

À semelhança do desempenho obtido inicialmente, após envelhecimento, o produto H3, dispersão aquosa 100% acrílica, foi o que apresentou melhor desempenho na impermeabilização da superfície, uma vez que obteve uma maior redução do coeficiente de capilaridade, cerca de 56,6% em relação ao sistema sem proteção (Figura 4.18), e apresentou sempre os menores valores de absorção de água ao longo do ensaio (Figura 4.19).

Os produtos H1 e H2, apresentaram um comportamento semelhante após envelhecimento, com uma redução do coeficiente de capilaridade da ordem dos 21,3% em relação ao H0 e com absorções bastante parecidas ao longo do ensaio.

Uma possível causa para a redução da absorção de água capilar após envelhecimento com ciclos higrotérmicos pode ser a lixiviação de algumas partículas da camada de acabamento do ETICS, efeito dos ciclos de chuva-gelo, que causam a obstrução de poros capilares, uma vez que as reduções também são bastante significativas para o sistema sem proteção (H0). De facto, através da análise a microscópio ótico observou-se que para H0 umas partículas do revestimento encontravam-se mais soltas, o que apoia a possibilidade da ocorrência de lixiviação (Figura 4.17a). Outra hipótese plausível está relacionada com a redução da porosidade da camada de base do sistema ETICS em consequência de uma evolução das reações de hidratação do cimento, como efeito dos ciclos de exposição à água.

Estudos em argamassas de cimento, como de Borsoi et. al. [4], Farinha et al. [73] e Oliveira et al. [74], onde se utilizou o mesmo tipo de ciclos de envelhecimento artificial, verificaram o mesmo efeito (uma menor permeabilidade à água após ciclos de envelhecimento em consequência da hidratação do cimento, resultante dos ciclos de chuva-gelo). Adicionalmente, Farinha et al. [75] e Oliveira et al. [74] verificaram que, após os mesmos ciclos de envelhecimento, as argamassas apresentaram também maior resistência. A hidratação do cimento diminui os espaços vazios da argamassa, tornando-a mais compacta e, portanto, mais resistente [75].

Os sistemas com aplicação de produtos de proteção, adicionalmente às hipóteses mencionadas no paragrafo anterior (lixiviação parcial e alteração da porosidade da camada de base do ETICS), a causa para a redução da absorção capilar pode estar ainda relacionada com a redução da sucção capilar, em consequência do aumento da quantidade de poros maiores (superiores à faixa capilar) como resultado de microfissuras. Através da análise a microscópio ótico é possível confirmar a presença de microfissuras e da expansão de alguns poros como consequência de microfissuras nos revestimentos estudados após envelhecimento (Figura 4.17b, c e d)

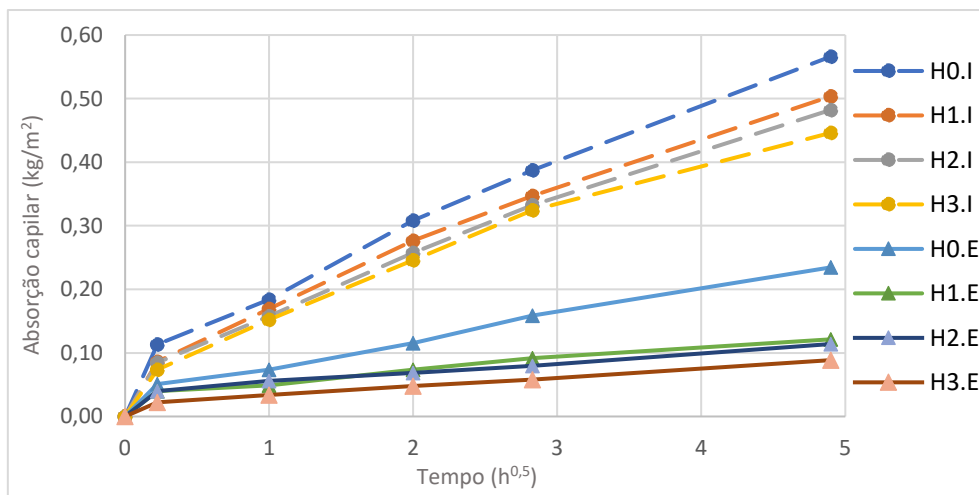


Figura 4.19 - Curvas de absorção de água por capilaridade iniciais (I), a tracejado, e após envelhecimento artificial acelerado (E), com linha contínua, dos sistemas com e sem produtos de proteção.

4.3.2.2 Cinética de secagem

O ensaio de secagem após envelhecimento acelerado terminou após 72h, ou seja, um tempo significativamente inferior se comparado ao ensaio realizado para os provetes em estado inicial (144h). Esta redução do tempo de ensaio é atribuída ao facto de os provetes no ensaio de absorção de água por capilaridade após envelhecimento artificial acelerado, ponto de partida do ensaio de secagem, terem absorvido uma quantidade de água consideravelmente inferior da absorvida no ensaio de desempenho inicial, o que, conseqüentemente, leva a uma estabilização dos provetes em menos tempo no ensaio de secagem.

Na Tabela 4.12 encontram-se os resultados médios obtidos para o ensaio de secagem nos provetes antes e após envelhecimento. Os resultados individuais encontram-se no Anexo III.

Relativamente à taxa de secagem 1 (TS1), que expressa a velocidade de secagem na fase inicial (*step I*), o envelhecimento provocou um aumento do seu valor em H0 e H1 (70,9% e 32,6%, respetivamente), enquanto em H2 e H3 verificou-se uma redução de 8% em relação aos resultados obtidos para o desempenho inicial.

Tabela 4.12 - Resultados obtidos através do ensaio de secagem inicial e após envelhecimento acelerado.

Sistema	Área de secagem (m ²)	TS1 (kg/m ² .h)		TS2 (kg/m ² .h ^{0.5})		Is		ΔTm%	
		Inicial	Após Env.	Inicial	Após Env.	Inicial	Após Env.	Inicial	Após Env.
H0	0,022	0,062	0,106	0,043	0,013	0,125	0,193	1,26	0,78
H1	0,022	0,038	0,051	0,035	0,008	0,249	0,186	2,06	0,33
H2	0,023	0,046	0,043	0,042	0,008	0,110	0,202	0,80	0,37
H3	0,023	0,031	0,029	0,030	0,005	0,280	0,250	2,32	0,35

Legenda: TS1 – Taxa de Secagem 1; TS2 – Taxa de Secagem 2; Is – Índice de Secagem; ΔTM – Variação total de massa.

Os efeitos do envelhecimento foram mais evidentes na taxa de secagem 2 (TS2), fase correspondente ao transporte de água na fase vapor, que em relação ao desempenho obtido no estado inicial; H0 reduziu a TS2 em 71,1%, enquanto H1, H2 e H3 sofreram todos uma redução na ordem dos 80%.

As reduções na TS2 podem confirmar a diminuição não só dos poros capilares, mas dos poros em geral, até mesmo mais pequenos, estando de acordo com a hipótese de hidratação do cimento da camada de base do ETICS com efeito dos ciclos de envelhecimento. Nos ETICS o transporte de vapor de água dá-se principalmente em poros de dimensões inferiores a 0,1 μm, enquanto o transporte de água líquida, por capilaridade, ocorre particularmente nos poros inferiores a 10 μm [76].

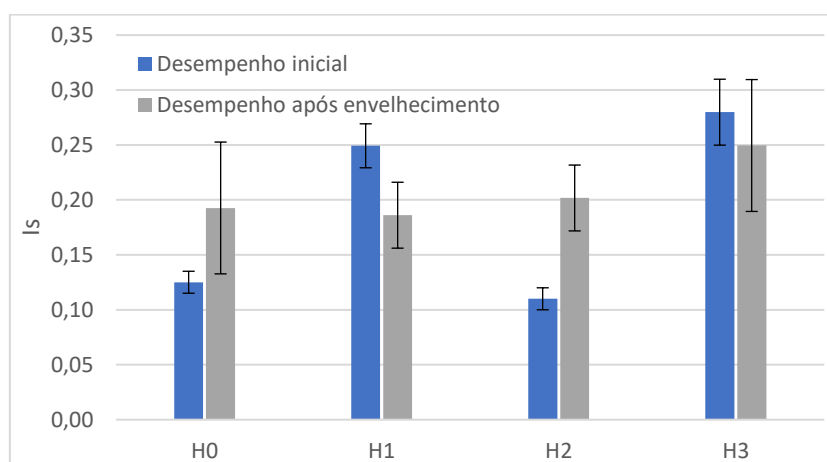


Figura 4.20 - Comparação do índice de secagem inicial e após envelhecimento artificial acelerado.

Segundo os resultados apresentados na Figura 4.20 (índices de secagem antes e após envelhecimento), é possível verificar que o envelhecimento teve um impacto significativo nos produtos H0 e H2 onde se observou um aumento da resistência à secagem de 54,0% e 83,4% respetivamente, enquanto que os produtos H1 e H2 reduziram 25,3% e 10,8%, em relação aos valores obtidos para o desempenho inicial.

Contudo, relativamente ao sistema sem proteção após envelhecimento, H1 apresenta um índice de secagem (IS) inferior (3,4% inferior) e H2 e H3 superior (4,7% e 29,5%, respetivamente). Continuando o produto H3 a ser o produto que atrasa mais a cinética de secagem do sistema ETICS, enquanto H1 e H2 apresentam variações na resistência à secagem do sistema (IS) pouco significativas.

Numa visão global, o produto H2, tinta à base de resinas siloxânicas, foi o produto que menos influenciou a cinética de secagem antes e após envelhecimento do ETICS. Apesar de o envelhecimento ter demonstrado um impacto significativo na superfície com H2, quando comparado ao efeito sentido pela superfície sem proteção e tendo em conta que o produto também induz uma menor absorção de água, as variações no processo de secagem revelam-se pouco expressivas.

4.3.2.3 Permeabilidade à água sob baixa pressão – Tubos de Karsten

Semelhante ao que se observa na absorção por capilaridade, também os valores obtidos para o coeficiente de absorção de água aos 60 min, no ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão, reduziram em relação aos obtidos no desempenho inicial (Figura 4.21). As reduções foram da ordem de 35,6%, 62,2%, 75,6% e 93,3%, para H0, H1, H2 e H3, respetivamente, como pode ser observado na Figura 4.21.

O produto de proteção H3 foi o que mais se destacou, da mesma forma que na absorção capilar, pela redução do coeficiente de absorção de água aos 60 min de 96,6%, quando comparado ao mesmo valor do ETICS sem proteção (H0). No entanto, também os produtos H1 e H2 provocaram uma redução de 51,7% e 65,5%, respetivamente.

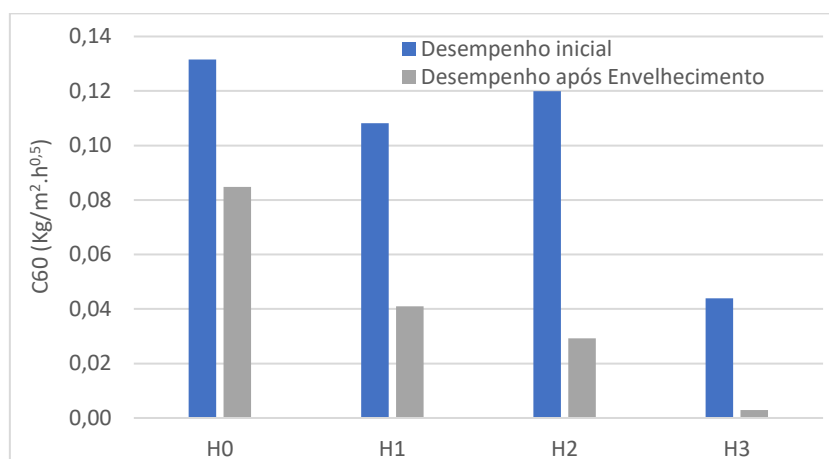


Figura 4.21 - Comparação do coeficiente de absorção de água aos 60 min de ensaio inicial e após envelhecimento artificial acelerado.

Após envelhecimento, os três produtos de proteção hidrofóbica continuaram a mostrar bom desempenho na redução da absorção de água, mantendo-se as curvas de absorção dos produtos abaixo das da referência (H0). No entanto, contrariamente ao que foi observado no ensaio de absorção de água por capilaridade, os valores de absorção de água com tubos de *Karsten*, ao longo do ensaio, não se mostraram sempre inferiores aos obtidos para o desempenho inicial, não tendo o envelhecimento o mesmo efeito nos dois ensaios.

Silva et al. [30], estudando ETICS expostos a condições externas naturais durante 4 anos e tratados com silanos, também verificaram que o método de avaliação de absorção de água sob baixa pressão com tubos de *Karsten* apresentou-se mais sensível que o ensaio de absorção de água por capilaridade, permitindo identificar precocemente os efeitos da orientação da fachada e do tempo de exposição (envelhecimento).

De forma geral, após 1h de ensaio para o sistema sem proteção e após 8 h de ensaio para H1 e H3 (de base acrílica), as superfícies começaram a apresentar maiores absorções, podendo sugerir que, tanto o sistema sem proteção bem como os sistemas com os dois produtos de proteção hidrofóbica utilizados, começam a perder eficácia de proteção à água (Figura 4.22).

Se se assumir que o envelhecimento com ciclos higrotérmicos afeta a distribuição porosimétrica, ocorrendo uma expansão dos poros ou uma obstrução dos poros mais finos, é justificável os efeitos observados no ensaio com tubos de *Karsten*, uma vez que geralmente é considerado que poros de 1 a 10 μm atuam como poros capilares, ao passo que poros de dimensões superiores a 10 μm contribuem para a entrada de água através da gravidade ou entrada de água impulsionada pelo vento [4].

É de realçar, que para o sistema com aplicação de H2, tinta à base de resinas siloxânicas, o mesmo não é constatado. As superfícies protegidas com este produto apresentam absorções sempre inferiores às obtidas antes do envelhecimento, tanto no ensaio de capilaridade como no ensaio com tubos de *Karsten* (Figura 4.22). De facto, através das imagens recolhidas da superfície, esta não apresenta muitos poros na película de tinta, apenas microfissuras (Figura 4.17c), ao contrário do que se observa nas superfícies com H1 e H3 (Figura 4.17b e d)

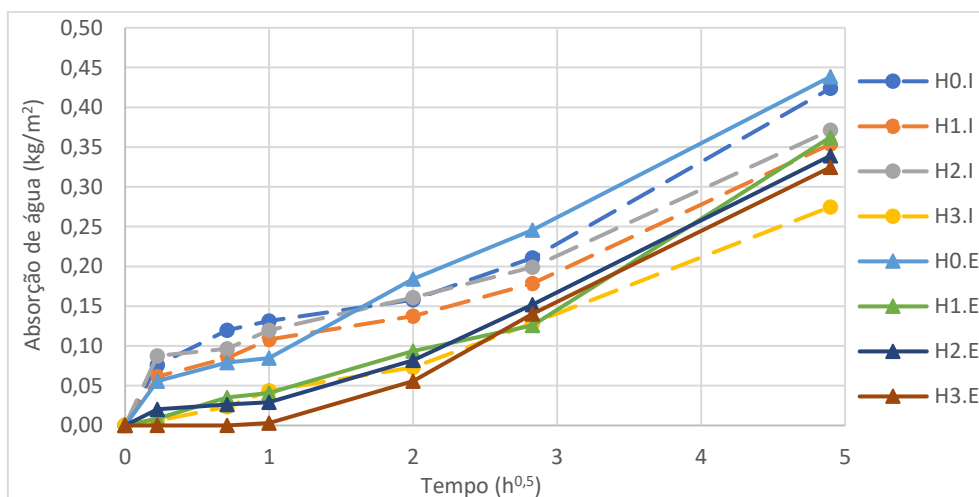


Figura 4.22 - Absorção de água sob baixa pressão antes do envelhecimento (I), a tracejado, e após envelhecimento artificial acelerado (E), com linha contínua – Tubos de *Karsten*.

4.3.2.4 Ângulo de contacto estático

Após envelhecimento artificial acelerado, foi medido o ângulo de contacto das superfícies estudadas. Também os valores obtidos confirmam a possível alteração da microestrutura devido aos ciclos de envelhecimento. Todas as superfícies exibiram ângulos de contacto superiores aos medidos no desempenho inicial, evidenciando a tendência observada no ensaio de capilaridade, como é possível

observar na Figura 4.23. O H0 (sistema ETICS sem proteção) aumentou o ângulo de contacto de 56,3% relativamente ao ângulo obtido inicialmente. Os sistemas ETICS com produtos de proteção H1, H2 e H3, aumentaram o seu ângulo de contacto de 73,25%, 31,69% e 18,22%, respetivamente.

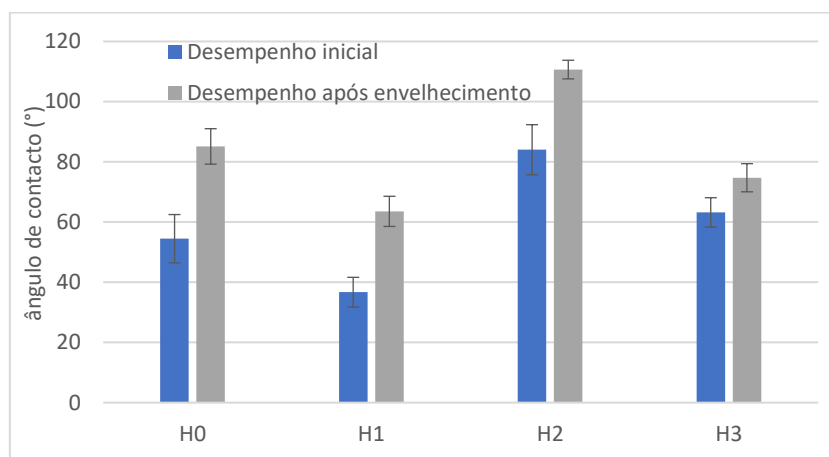


Figura 4.23 - Comparação do ângulo de contacto inicial e após envelhecimento artificial acelerado.

Contudo, tal como acontece no desempenho inicial dos produtos, após envelhecimento, para os produtos de proteção H1 e H3 (de base acrílica) observam-se valores de ângulo de contacto inferiores aos do sistema sem proteção (H0) (25,4% e 12,2%, respetivamente), apesar de se verificar menores absorções capilares e com tubos de *Karsten*. O produto de proteção H2, tinta à base de resinas siloxânicas, é o que apresenta maior ângulo de contacto (111°) (30% superior a H0), porém não é a superfície que apresenta menores absorções de água por capilaridade. Mais uma vez os resultados obtidos reforçam a ideia de não linearidade entre os valores do ângulo de contacto e os valores de absorção de água e a importante contribuição de outros fatores de influência.

4.3.2.5 Permeabilidade ao vapor de água

Na Figura 4.24 encontram-se os resultados para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água obtidos antes e após envelhecimento artificial acelerado.

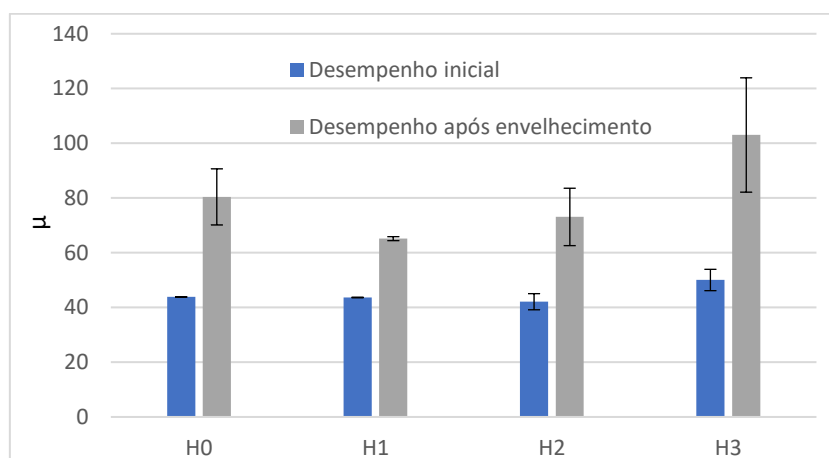


Figura 4.24 - Comparação do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água inicial e após envelhecimento artificial acelerado.

Perante os resultados obtidos, observou-se que o envelhecimento teve um impacto significativo na permeabilidade ao vapor de água, verificando-se um aumento generalizado do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ), relativamente aos valores atingidos para o desempenho inicial. O maior aumento verificou-se no sistema com aplicação de H3, com um aumento de 105,9%. No sistema sem aplicação de proteção (H0) e nos sistemas com H1 e H2 os aumentos foram de 83,4, 49,3% e 73,6%, respetivamente.

No entanto, relativamente a H0, após envelhecimento, o sistema com aplicação de H3 é o único que apresenta um valor superior de μ (28,2%). Nos sistemas com aplicação de H1 e H2 observam-se valores inferiores (19,0% e 9,1%, respetivamente), o que significa que estes revestimentos protegeram a superfície dos efeitos do envelhecimento, não permitindo elevadas reduções da permeabilidade ao vapor de água.

A diminuição da permeabilidade ao vapor de água do sistema ETICS sem proteção (H0) como efeito do envelhecimento está de acordo com a TS2 confirmando a hipótese de redução da porosidade.

Na Tabela 4.13 apresentam-se os valores obtidos para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) do sistema ETICS completo e do isolante (EPS) com respetivos desvios padrão, e os valores das camadas de ar de difusão equivalente (S_d) para o sistema ETICS completo, para o isolamento (EPS) e para as camadas de acabamento.

Tabela 4.13 - Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água após envelhecimento.

Sistema	μ ETICS	Desvio padrão	S_d ETICS (m)	Desvio padrão	μ EPS	S_d EPS	Desvio padrão	S_d acabamento (m)	Desvio padrão
H0	80,39	10,25	3,43	0,43				1,93	0,43
H1	65,14	0,73	2,79	0,02	39,07	1,52	0,01	1,26	0,02
H2	73,08	10,48	3,12	0,46				1,61	0,46
H3	103,02	20,88	4,40	0,91				2,86	0,92

Após envelhecimento constatou-se também que existe maior variabilidade entre os valores obtidos, isto é, os valores dos desvios padrão (Tabela 4.13, terceira coluna) para o μ são superiores, indicando que os ciclos de envelhecimento aumentaram as heterogeneidades das superfícies. Apenas a superfície com aplicação de H1 apresentou um desvio padrão bastante reduzido, significando que é a superfície mais homogênea em termos de permeabilidade.

É necessário notar que o aumento do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água levou, consequentemente, ao aumento da camada de ar de difusão equivalente (S_d), que apresenta valores, no caso de H3 superior a 2 m e nas restantes situações muito próximos de 2 m (Tabela 4.13), valor limite recomendado pelo ETAG 004 [17]. Isto indica que após envelhecimento, e particularmente para a superfície com aplicação de H3, existe uma elevada possibilidade de ocorrerem condensações intersticiais.

As condensações no interior do sistema levam à perda de adesão do filme e, eventualmente ao seu desprendimento total, que consequentemente leva à redução da vida útil do sistema ETICS. Por esta

razão, os produtos de proteção que minimizem as alterações em termos de permeabilidade ao vapor de água são os mais adequados. Neste estudo, os produtos que menos interferem na permeabilidade ao vapor de água do sistema, tanto inicialmente bem como após envelhecimento, são o H1 e H2, apresentando valores de μ semelhantes.

4.3.2.6 Suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

Os resultados obtidos para o desenvolvimento de bolores após envelhecimento artificial acelerado apresentam-se na Tabela 4.14.

Era expectável que após envelhecimento os biocidas presentes nas formulações perdessem eficácia e se verificasse algum crescimento no ensaio, particularmente no revestimento H2 pelo facto de este apresentar microfissuras ao longo de toda a película e estas serem microambientes favoráveis ao desenvolvimento biológico. No entanto, no ensaio não se verificou qualquer crescimento nos revestimentos aplicados, apenas um crescimento muito pouco significativo no sistema ETICS sem proteção (Figura 4.25).

Tabela 4.14 - Classificação visual de crescimento de bolores nas superfícies dos provetes.

Semana	1			2			3			4		
Provete	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
H0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Controlo	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Legenda: 0 = sem crescimento; 1 = menos de 10% da superfície do provete com crescimento; 2 = entre 10 a 30%; 3 = entre 30 a 60 %; 4 =superior a 60%.

No controlo (madeira), observou-se um crescimento superior a 60% da superfície do provete, sendo a classificação atribuída 4 no final do ensaio (após 4 semanas) o que confirma a validade do procedimento (Anexo VII).

Na Figura 4.26 encontram-se microfotografias das superfícies com proteção envelhecidas após ensaio de desenvolvimento de bolores. As manchas observadas na superfície do provete são provocadas pelo inóculo. Neste estudo, aplicou-se o inóculo em redor do provete, no meio de cultura, mas também na superfície do provete, de forma a potenciar o crescimento biológico. Ainda assim, o crescimento não se verifica, confirmando que os produtos de proteção têm uma boa durabilidade e provavelmente o biocida (que é incluído nos próprios produtos, conforme visto nas fichas técnicas) não é completamente lixiviado das superfícies [77], continuando a desempenhar uma ação de prevenção ao crescimento biológico.

A adição de TiO_2 nas formulações de tinta e na camada de acabamento do sistema ETICS pode também estar associado à prevenção do crescimento biológico; de facto, o TiO_2 , também quando sujeito a baixa irradiação ($2,5 \text{ W/m}^2$), portanto também num ambiente interior, pode formar radicais livres que penetram nas membranas celulares de biocolonizadores, entre os quais algas ou fungos, inibindo o seu crescimento [78].

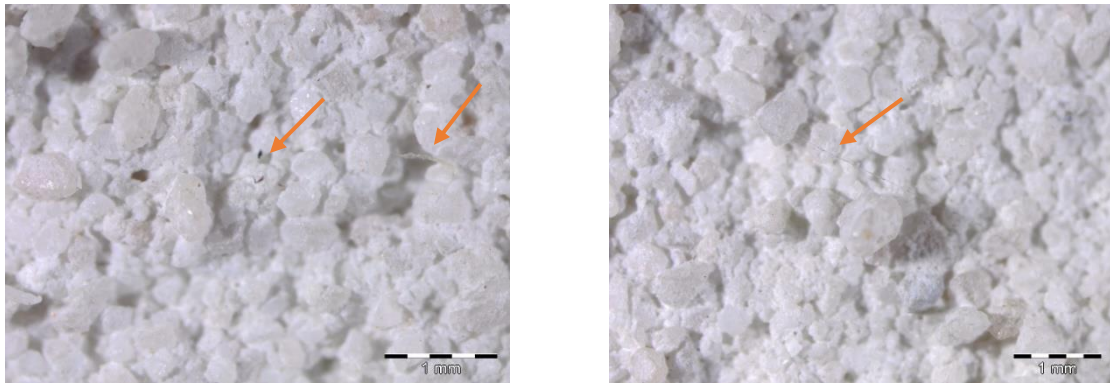


Figura 4.25 - Microfotografias da superfície sem proteção envelhecida com pequeno desenvolvimento de bolores, indicado pelas setas.

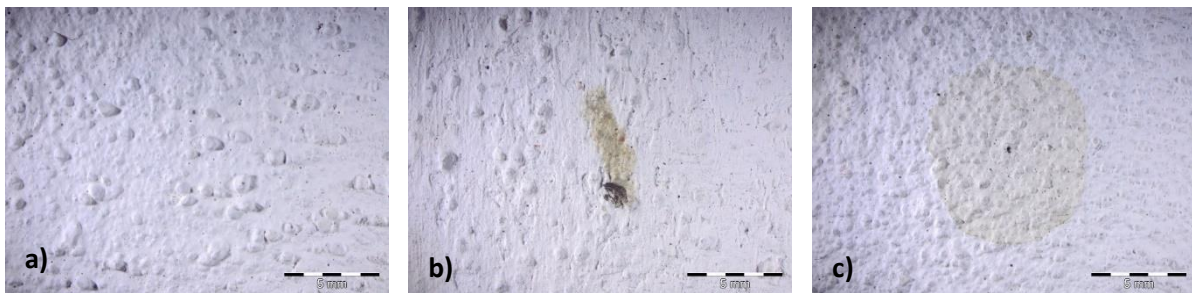


Figura 4.26 - Microfotografias das superfícies envelhecidas após o ensaio de desenvolvimento de bolores. a) H1; b) H2, com mancha de inóculo; c) H3, com mancha de inóculo.

4.3.2.7 Síntese dos resultados após envelhecimento

Após envelhecimento artificial acelerado, os produtos continuaram a ser eficazes em proteger a superfície relativamente à água absorvida por capilaridade. Contudo, verificou-se uma redução da absorção capilar também no sistema ETICS sem proteção. O produto H3, tal como para o desempenho inicial, exibiu as melhores absorções de água por capilaridade.

Relativamente à cinética de secagem, todos os produtos de proteção envelhecidos atrasaram a taxa de secagem 2 (TS2), sendo os produtos H1 (de base acrílica) e H2 (à base de siloxano) os que apresentaram uma TS2 mais próxima da do sistema sem proteção envelhecido. As resistências à secagem (IS) aumentaram para todos os sistemas com o envelhecimento, sendo a superfície com H3 a que apresenta a maior resistência, influenciando negativamente a secagem do sistema ETICS. Contudo também o sistema sem proteção sofreu uma redução na taxa de secagem 2 e um aumento da resistência à secagem como efeito do envelhecimento.

Em relação ao ensaio de absorção de água sob baixa pressão, os produtos H1 e H3 (ambos de base acrílica) apresentaram inicialmente absorções inferiores às iniciais, tal como verificado na capilaridade. No entanto a partir das 8 h de ensaio evidenciaram alguns efeitos do envelhecimento, com absorções de água superiores às obtidas no desempenho inicial, porém inferiores à do sistema ETICS sem proteção. O produto H2 manteve absorções inferiores às obtidas antes do envelhecimento em todo o ensaio. Conclui-se que também neste ensaio os produtos continuam a ser eficazes após

envelhecimento. Também no sistema sem proteção se verificou os efeitos do envelhecimento com o aumento da absorção de água relativamente ao desempenho inicial a partir da 1h de ensaio.

A permeabilidade ao vapor de água foi afetada negativamente pelos ciclos de envelhecimento artificial, com um aumento do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ), em todos os sistemas estudados (com e sem proteção). Os produtos H1 e H2 apresentaram uma proteção adequada do sistema ETICS aos efeitos do envelhecimento, exibindo valores de μ inferiores ao do sistema sem proteção envelhecido. O produto H3, tal como antes de envelhecimento, apresentou um valor de μ superior ao do sistema sem proteção envelhecido.

Em síntese, os ciclos higrotérmicos induziram efeitos negativos na cinética de secagem e na permeabilidade ao vapor de água de todos os produtos. Os produtos de proteção H1 e H2, apesar de não apresentarem as menores absorções de água, são os que sofrem menos efeitos do envelhecimento, e desta forma mantêm uma proteção mais adequada.

4.4 Correlações entre parâmetros

No presente estudo, recorreu-se a diversos ensaios com o intuito de avaliar o desempenho de três produtos de proteção hidrofóbica aplicadas em um sistema ETICS. Nesta secção relacionaram-se alguns parâmetros obtidos em cada ensaio.

As características de absorção de água por parte do suporte foram avaliadas através do ensaio de absorção de água por capilaridade e permeabilidade à água sob baixa pressão com tubos de *Karsten* e destes dois ensaios obtiveram-se o coeficiente de capilaridade e o coeficiente aos 60 min, respetivamente. Dos resultados obtidos, conclui-se que os dois parâmetros mencionados, relacionam-se entre si com uma correlação inicial de 0,59 e após envelhecimento de 0,88 (Figura 4.27), significando que, neste estudo, os provetes que absorvem mais água por capilaridade também absorvem mais água sob baixa pressão, apesar de os mecanismos de entrada de água no sistema serem diferentes.

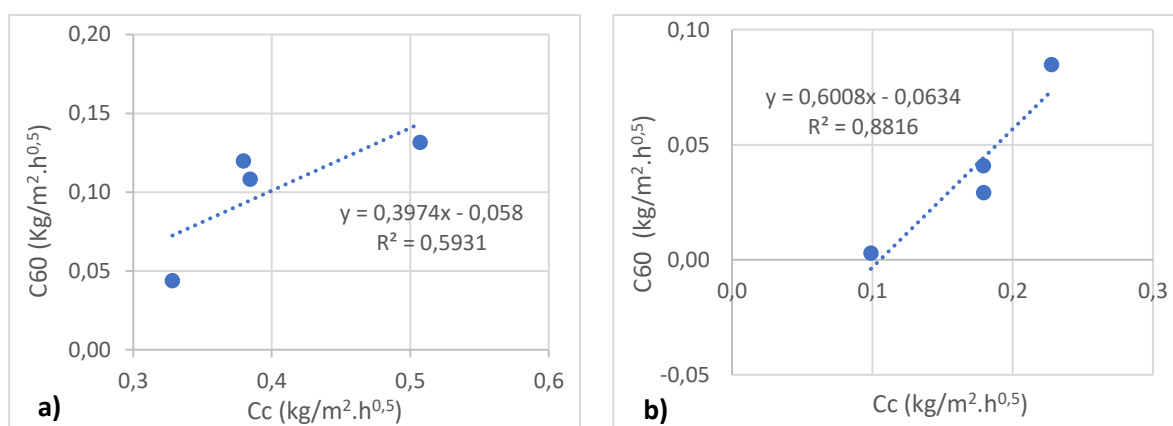


Figura 4.27 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (C_c) e o coeficiente aos 60 min (C_{60}) a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.

É importante perceber se os ensaios de absorção por capilaridade estão em concordância com o ensaio de secagem. Ao analisar os resultados é possível considerar que existe uma correlação linear entre os dois ensaios (Figura 4.28 e Figura 4.29), antes e após envelhecimento, verificando-se que os provetes

que absorvem mais água por capilaridade são os que secam mais rápido. Obteve-se correlações entre o coeficiente de capilaridade (Cc) e a taxa de secagem 1 (TS1) de 0,92 (Figura 4.28a) e 0,73 (Figura 4.28b), antes e após envelhecimento, respetivamente. De forma semelhante, as correlações obtidas entre o Cc e a TS2, antes e após envelhecimento, foram iguais a 0,60 (Figura 4.29a) e 0,82 (Figura 4.29b), respetivamente.

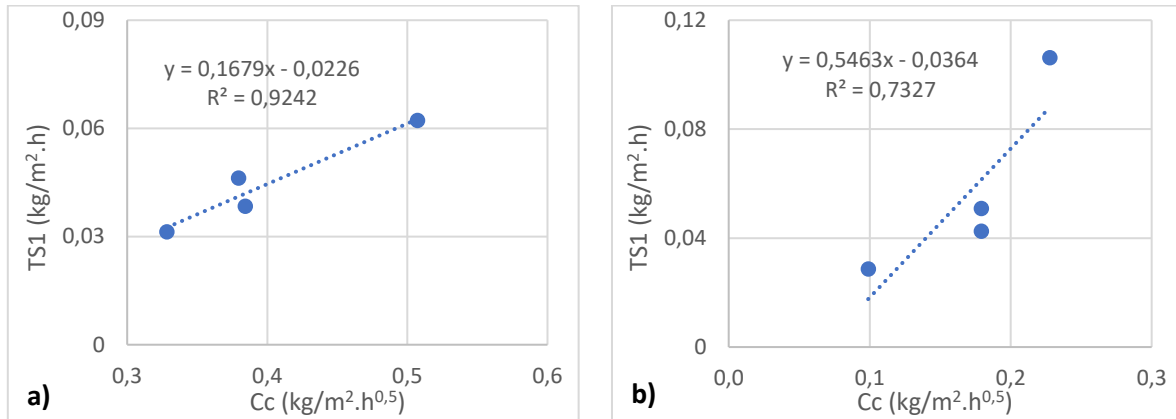


Figura 4.28 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (Cc) e a Taxa de secagem 1 (TS1); a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.

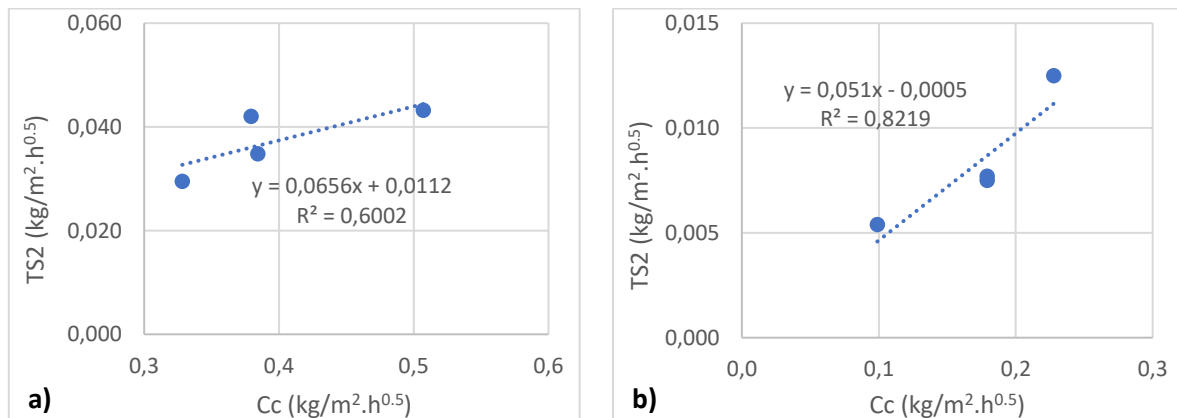


Figura 4.29 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (Cc) e a Taxa de secagem 2 (TS2); a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.

A mesma tendência observa-se na Figura 4.30, onde o índice de secagem diminui à medida que o coeficiente de capilaridade aumenta. Na situação antes do envelhecimento, a correlação entre estes dois parâmetros (Is Vs Cc) é reduzida ($R^2=0,42$). No entanto, se se retirar o ponto correspondente a H2 verifica-se uma maior correlação ($R^2=0,98$) (Figura 4.30) Após envelhecimento, as correlações entre os dois parâmetros são idênticas com ou sem o valor respetivo a H2 ($R^2\approx 0,79$). De facto, apenas nos resultados antes do envelhecimento o produto H2 evidenciou um IS muito inferior aos restantes.

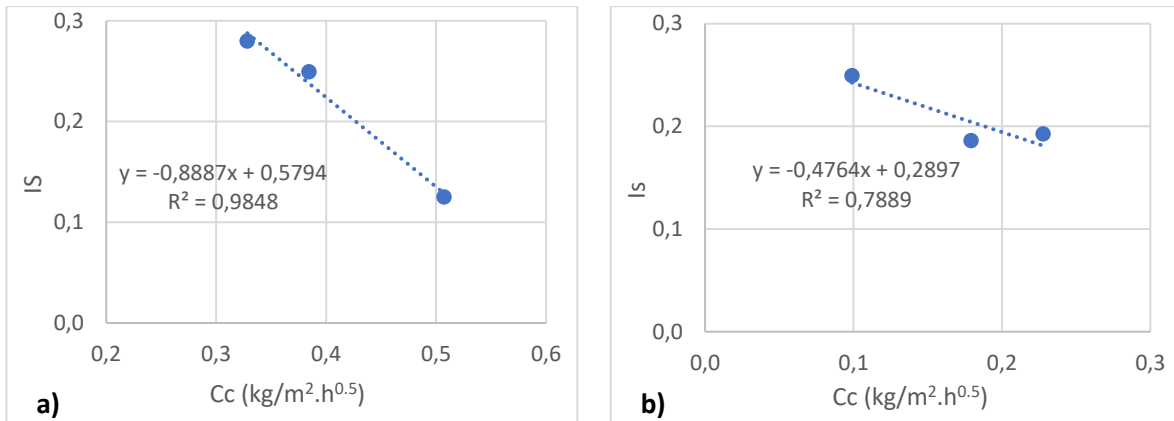


Figura 4.30 - Relação entre o coeficiente de capilaridade (Cc) e o índice de secagem (Is) sem o valor relativo a H2; a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.

É esperado que para um valor mais elevado do índice de secagem (Is) resulte um maior coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ), ou seja, um suporte com menor permeabilidade tem maior resistência à secagem. No presente estudo, verificou-se uma correlação para os dois parâmetros, apresentadas na Figura 4.31.

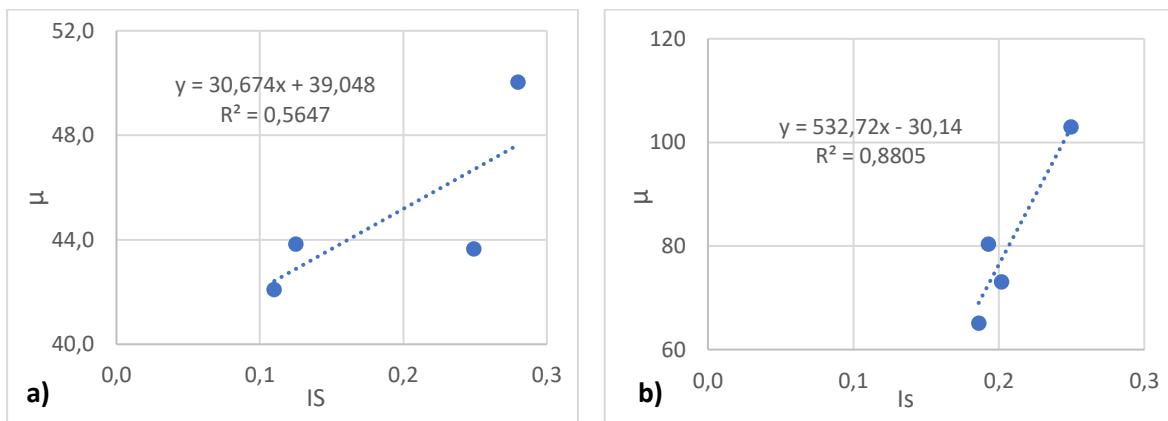


Figura 4.31 - Relação entre o índice de secagem (Is) e o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ); a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.

É expectável que exista uma correlação linear entre o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água e a taxa de secagem 2, correspondente ao transporte de vapor de água no processo de secagem. Neste estudo, essa correlação linear não foi obtida (particularmente após envelhecimento $R^2 < 0,1$). Contudo, se o valor relativo ao sistema ETICS sem proteção (H0) for retirado, esta tendência é observada. Verificando-se antes do envelhecimento uma correlação de 0,83 (Figura 4.32a) e após envelhecimento de 0,92 (Figura 4.32b).

Tentou-se também aferir a correlação entre o coeficiente de absorção por capilaridade (Cc) e o ângulo de contacto. No entanto, neste estudo, não se verificou uma correlação linear entre os dois parâmetros, como tem sido visto ao longo do capítulo.

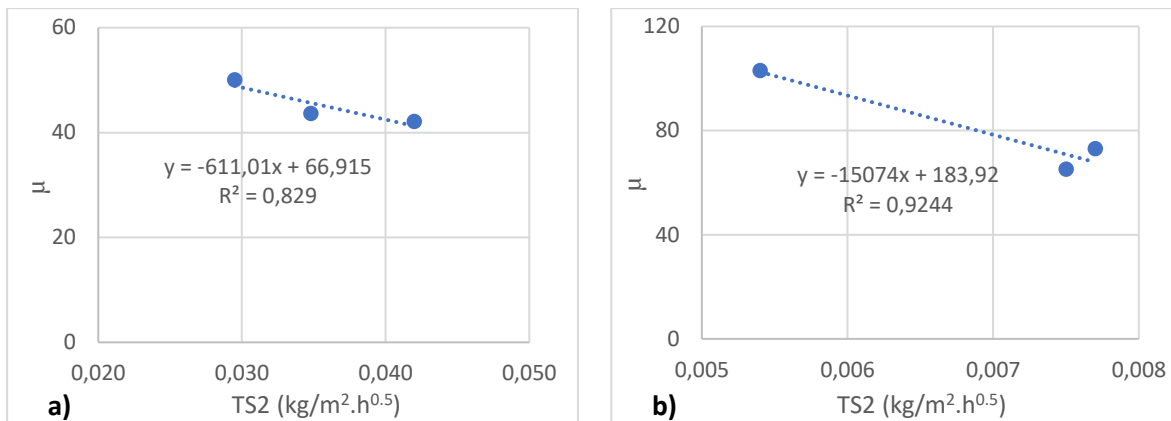


Figura 4.32 - Correlação entre o coeficiente de resistência à difusão de vapor de água (μ) e a taxa de secagem 2 (TS2), sem valores de H0; a) antes do envelhecimento; b) após envelhecimento.

4.5 Conclusões do capítulo

Na Tabela 4.15 encontra-se uma síntese dos principais resultados obtidos para cada produto (H0, H1, H2 e H3) e na Tabela 4.16 encontram-se as variações em percentagem (positiva se a aplicação do produto melhorou ou negativa se piorou), antes e após envelhecimento artificial acelerado.

Com a aplicação dos produtos de proteção verificou-se uma redução da água absorvida por capilaridade com reduções do coeficiente de capilaridade aos 3 min (C_c) entre 25 e 35%. O produto H3, de base acrílica, foi o que apresentou maior redução de absorção de água. O envelhecimento artificial acelerado, através de ciclos higrotérmicos, reduziu as absorções de água por capilaridade em todos os sistemas estudados, incluindo o sistema ETICS sem proteção. A principal justificação para este acontecimento baseia-se na redução da porosidade da camada de base do sistema, devido a uma evolução na hidratação do cimento com os ciclos de chuva-gelo, particularmente para o sistema sem proteção. Para os sistemas protegidos, a principal causa pode estar associada à redução da sucção capilar resultante da expansão dos poros capilares em consequência de microfissuras. Contudo, também estes sistemas (protegidos) podem ter sido parcialmente lixiviados. Após envelhecimento, os produtos de proteção hidrofóbica aplicados continuaram a exibir um bom desempenho neste ensaio. O sistema com aplicação de H3 foi o que apresentou, tal como no desempenho inicial, maior redução na absorção de água capilar.

Em relação à absorção de água sob baixa pressão, a aplicação dos produtos levou a uma redução do coeficiente aos 60 min (C_{60}) (8-67%), sendo o produto H3 o que apresenta menores absorções, igualmente ao que aconteceu no ensaio de absorção por capilaridade. Após envelhecimento, os coeficientes aos 60 min mostraram-se também muito inferiores aos obtidos para o desempenho inicial para todos os sistemas, apresentando H3 a maior redução (93,3%). No entanto, ao longo do ensaio não se manteve a tendência, chegando as absorções a atingir valores superiores aos obtidos antes do envelhecimento, particularmente para as superfícies com H1 e H3 (ambas de base acrílica) e para o sistema sem proteção, podendo indicar alguma perda de eficácia na proteção à água do revestimento com o envelhecimento. De facto, os mecanismos de entrada de água no sistema por capilaridade e por tubos de *Karsten* são distintos. A entrada de água sob pressão está associada a poros de maiores

dimensões quando comparados aos poros capilares, o que pode comprovar a hipótese mencionada de expansão dos poros presentes nas superfícies. Para o sistema com produto de proteção H2 (à base de siloxano), os valores das absorções foram sempre inferiores ao longo do ensaio (sendo observados nesta superfície poucos poros, mais microfissuras).

Relativamente à cinética de secagem, todos os produtos reduzem as taxas de secagem, destacando-se o produto H2, tinta à base de siloxano, com uma velocidade de secagem na 2^o fase (TS2) praticamente idêntica à do sistema ETICS sem proteção. Após envelhecimento, observou-se a mesma tendência de redução observada nos testes anteriores, apoiando a hipótese de uma alteração da porosidade com os ciclos de envelhecimento (justificado também pela menor quantidade de água absorvida).

Com a aplicação dos produtos de proteção H1 e H2 observou-se, inicialmente, que a permeabilidade ao vapor de água do sistema era praticamente inalterada, observando-se até uma ligeira melhoria (até 4%). Com a aplicação de H3 verificou-se uma maior resistência à difusão de vapor de água (14%). Após envelhecimento, H0 sofreu uma grande diminuição da permeabilidade (80%), da mesma forma que a TS2 confirmando a possibilidade de lixiviação de partículas com conseqüente obstrução dos poros. Os produtos H1 e H2 continuaram a demonstrar o melhor desempenho na permeabilidade ao vapor, sofrendo também uma diminuição, mas não tão significativa, considerando que protegeram o sistema dos danos provocados pelos ciclos de envelhecimento, mantendo uma permeabilidade adequada. O produto H3, tal como inicialmente, apresentou uma maior resistência à difusão de vapor relativamente ao sistema sem proteção (H0).

Os valores obtidos para o ângulo de contacto evidenciaram que este parâmetro não deve ser relacionado linearmente com as absorções de água por capilaridade, principalmente neste tipo de produtos, visto que o valor do ângulo está dependente de inúmeros fatores, desde a composição química do ligante à composição das adições que conferem propriedades hidrofílicas ou de adições que influenciam a homogeneidade da superfície.

Os produtos de proteção aplicados mostraram ser soluções de proteção hídrica adequadas ao sistema ETICS, sendo o único aspeto negativo o atraso que induz na cinética de secagem do sistema. O produto com melhor desempenho foi o H2, à base de siloxano, que, apesar de não ter apresentado as menores absorções de água, foi o que influenciou menos a cinética de secagem e a permeabilidade do sistema antes e após envelhecimento.

Tabela 4.15 - Síntese dos resultados obtidos na campanha experimental antes e após envelhecimento artificial acelerado.

	Parâmetros		Superfícies							
	Designação	Normas (ano)	H0		H1		H2		H3	
			Estado inicial	Após Env.	Estado inicial	Após Env.	Estado inicial	Após Env.	Estado inicial	Após Env.
Desempenho à água	Absorção capilar 1h (kg/m ²)	ETAG 004 /13	0,184	0,074	0,169	0,049	0,158	0,056	0,152	0,034
	Absorção capilar 24h (kg/m ²)		0,566	0,235	0,504	0,121	0,482	0,114	0,446	0,089
	Coef. Capilaridade (kg/(m ² .h ^{0,5}))		0,507	0,228	0,384	0,179	0,379	0,179	0,328	0,099
	Taxa de secagem TS1 (kg/(m ² .h))	EN 16322 /13	0,0622	0,1063	0,0384	0,0509	0,0462	0,0425	0,0313	0,0287
	Taxa de secagem TS2 (kg/(m ² .h ^{0,5}))		0,0432	0,0125	0,0348	0,0075	0,0420	0,0077	0,0295	0,0054
	Índice de secagem Is (-)		0,125	0,193	0,249	0,186	0,110	0,202	0,280	0,250
	Variação total de massa ΔTm (%)		1,26	0,78	2,06	0,33	0,80	0,37	2,32	0,35
	μ * ETICS (-)	ETAG 004 /13	43,8 °	80,4	43,6	65,14	42,1	73,08	50,0	103,0
	μ * Isolantes (-)		39,1							
	S _d ** acabamento (m)		0,35 °	1,93	0,34	1,26	0,26	1,61	0,62	2,86
	Abs. água com Tubos de Karsten 60min (cm ³)	LNEC FE Pa 39 /02	0,075	0,048	0,062	0,023	0,068	0,017	0,025	0,002
	Coef. absorção água aos 60 min (kg/(m ² .h ^{0,5}))		0,132	0,085	0,108	0,041	0,120	0,029	0,044	0,003
Biocolonização	Desenvolvimento de bolores (escala 0-4) ^a	ASTM D 5590-00 /10 ^b ; ASTM C 1338-19 /19 ^b	0	0,33	0	0	0	0	0	0
Propriedades superficiais	Ângulo Contato	XXXX	54	85	37	64	84	111	63	75

^a Inoculação com suspensão de *Aspergillus niger* e *Penicillium funiculosum*; Escala: 0 = sem crescimento aparente, 4 = com crescimento considerável.

^b Norma adaptada. ° Sem valor de H0.3. * Coeficiente de resistência à difusão do vapor de água. ** Espessura da camada de ar de difusão equivalente.

Tabela 4.16 - Variações em percentagem que cada produto provocou no sistema ETICS. Código de cores: verde – Melhoria no sistema ETICS; Laranja – Piorou moderadamente, com uma variação negativa até 30 %; Vermelho - Piorou consideravelmente, com uma variação negativa > 30%.

Parâmetros	H1		H2		H3	
	Estado inicial *	Estado Envelhecido **	Estado inicial *	Estado Envelhecido **	Estado inicial *	Estado Envelhecido **
Absorção capilar 1h	8,2	33,8	14,1	24,3	17,4	54,1
Absorção capilar 24h	11,0	48,5	14,8	51,5	21,2	62,1
Coef. Capilaridade	24,2	21,3	25,2	21,3	35,3	56,6
Taxa de secagem TS1	-38,3	-52,1	-25,7	-60,0	-49,7	-73,0
Taxa de secagem TS2	-19,4	-40,0	-2,8	-38,4	-31,7	-56,8
índice de secagem	-99,2	3,6	12,4	-4,7	-124,0	-29,5
μ	0,4	19,0	4,0	9,1	-14,1	-28,2
Absorção com Tubos de Karsten aos 60 min	17,3	52,1	9,3	64,6	41,3	95,8
Coef. Absorção de água aos 60 min	17,8	51,7	8,9	65,5	66,7	96,6
ângulo de contacto	-32,7	-25,3	54,3	30,0	16,0	-12,2

*Variação do produto no estado inicial (não envelhecido) relativamente a H0 no estado inicial. **Variação do produto envelhecido relativamente a H0 envelhecido.

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões

Com o intuito de aumentar a durabilidade de soluções de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), a presente dissertação analisou a proteção hidrofóbica conferida por três tintas comerciais (duas de base acrílica e uma à base de siloxano). Inicialmente realizou-se ensaios de caracterização dos materiais, nomeadamente, microscopia ótica e SEM para o sistema ETICS a estudar e massa volúmica, resíduo seco, microscopia ótica e SEM para os produtos de proteção. De forma a avaliar o desempenho dos produtos de proteção hidrofóbica, foram analisadas as propriedades de proteção à água das superfícies através dos ensaios de absorção de água por capilaridade, absorção de água sob baixa pressão com tubos de *Karsten* e medição do ângulo de contacto. Foram também verificadas as alterações provocadas pelas soluções de proteção superficial em termos da cinética de secagem do suporte, com os ensaios de secagem e de permeabilidade ao vapor de água, e analisada a suscetibilidade das superfícies ao desenvolvimento de bolores. Por fim, foi ainda realizado um envelhecimento artificial acelerado com ciclos higrotérmicos com a finalidade de avaliar o desempenho a longo prazo dos produtos.

Relacionando os resultados dos vários ensaios laboratoriais realizados, verificou-se que nem todos os ensaios demonstraram a mesma sensibilidade para caracterizar a ação dos produtos de proteção hidrofóbica. A medição do ângulo de contacto foi um dos parâmetros que não se correlacionou bem com os ensaios de absorção de água, não sendo clara a avaliação do desempenho deste tipo de produto de proteção, uma vez que o valor do ângulo de contacto na superfície, depende de inúmeros fatores, desde a composição química do produto à presença de adições que conferem propriedades hidrofílicas ou mesmo de adições que influenciam a rugosidade da superfície e conseqüentemente a medição do ângulo.

Os ciclos higrotérmicos em geral não conferiram efeitos negativos nas propriedades de transporte de água dos sistemas analisados. Os provetes tratados não apresentaram perda de eficácia, verificando-se após ciclos de envelhecimento uma absorção por capilaridade inferior à obtida inicialmente, tal como se observou também para o sistema sem proteção. Também os valores do ângulo de contacto apresentaram-se superiores, ainda que não tenham sido lineares com a absorção de água. Apenas no ensaio com tubos de *Karsten* se verificou, particularmente para H0 (sistema sem proteção), H1 e H3 (ambos de base acrílica), um ligeiro aumento da absorção de água a partir da 1h e 8h de ensaio, para o sistema sem proteção e para o sistema com proteção, respetivamente. Contudo, após envelhecimento, os sistemas de proteção continuaram a apresentar maior repelência à água que o sistema ETICS sem proteção.

No entanto, os efeitos negativos dos ciclos de envelhecimento foram sentidos na cinética de secagem do sistema, particularmente na taxa de secagem 2 (TS2), onde também se observou um atraso significativo no sistema ETICS sem proteção. Também a permeabilidade ao vapor de água foi significativamente afetada com o envelhecimento; contudo, os efeitos piores foram no sistema ETICS sem proteção quando comparados aos sistemas com proteção hidrofóbica, considerando-se que a

proteção conferida pelos produtos foi adequada, não permitindo a alteração excessiva da permeabilidade do sistema. A única exceção é a superfície com aplicação de H3 (base acrílica) onde se registou a menor TS2 e a maior resistência à secagem (IS), antes e após envelhecimento acelerado.

Desta forma, considera-se que os ciclos higrotérmicos possivelmente afetam a porosidade do sistema ETICS, uma vez que o sistema sem proteção apresentou também reduções de absorção de água por capilaridade, atraso na cinética de secagem e diminuição significativa da permeabilidade ao vapor. Também as películas de proteção evidenciaram uma possível alteração da porosimetria, com observação a microscópio ótico de maior número de poros e microfissuras.

É necessário realçar, que a realização de um envelhecimento natural em vez de um envelhecimento artificial acelerado poderia trazer mais implicações. De facto, o envelhecimento natural apresenta outros fatores, como por exemplo a radiação solar e a deposição de sujidade e de poluentes, que não são considerados no envelhecimento artificial e podem provocar a perda de eficácia dos produtos.

Perante a análise dos resultados dos ensaios realizados ao longo de toda a campanha experimental, verificou-se que o produto de proteção hidrofóbica H2, à base de siloxano, apresentou um desempenho ligeiramente melhor em relação aos restantes dois de base acrílica. O produto H2, apesar de não apresentar a menor absorção de água capilar (nem em valor absoluto, nem em taxa de absorção (Cc)), apresentou a menor variação na cinética de secagem do ETICS, antes e após envelhecimento, a melhor permeabilidade ao vapor no desempenho inicial e não alterou significativamente a permeabilidade do suporte após envelhecimento. Também na medição do ângulo de contacto este produto teve o melhor desempenho, apresentando valores de ângulo de contacto consideravelmente superiores aos dos produtos acrílicos, chegando o valor após envelhecimento a atingir os 111°, sendo considerado desta forma um produto hidrófugo.

Os produtos H1 e H3 apesar de serem constituídos pelo mesmo polímero (acrílico) apresentam algumas diferenças notáveis de desempenho. Portanto, o desempenho deste tipo de produtos não está só dependente do tipo de polímero utilizado, mas de muitos outros parâmetros envolvidos com a sua formulação (p.ex. tipo de pigmentos utilizados, concentração de pigmentos em volume (PVC), tipos de aditivos, etc.), conforme mencionado no Capítulo 2.

De acordo também com o Capítulo 2 da presente dissertação, existe uma quantidade de requisitos que este tipo de produtos deve satisfazer para se considerarem adequados. Dos requisitos mencionados, são feitas as seguintes observações:

- "*Minimizar a absorção de água do material*" - todos os produtos apresentam um bom desempenho na redução da absorção de água;

- "*Não reduzir a permeabilidade ao vapor de água*": o produto H3 diminui a permeabilidade ao vapor de água com um aumento de μ de 14%, com provetes no estado novo, e 28% após envelhecimento.

- "*Reduzir o desenvolvimento biológico*": não é possível afirmar o cumprimento deste requisito uma vez, que o sistema sem proteção também não apresentou crescimento biológico significativo; contudo, os

produtos de proteção garantem uma camada sacrificial, com propriedades anti-bactéricas, que ajuda na implementação da durabilidade do sistema;

- "*Ser de fácil aplicação*": as tintas são caracterizadas pela sua fácil aplicação, como um produto pronto a usar (com mínima diluição em água só na primeira aplicação);

Os restantes requisitos mencionados no capítulo 2 (apresentar estabilidade aos agentes químicos e à radiação UV, não favorecer a formação de eflorescências, reduzir a deposição de poeiras e apresentar capacidade de reversibilidade após perda de eficácia) não foram avaliados no presente estudo, ficando em aberto esta questão para estudos futuros.

Através da campanha experimental realizada na presente dissertação, e através da análise dos requisitos mencionados no capítulo 2, verificou-se que, de modo geral, os produtos de proteção hidrofóbica estudados são adequados aos sistemas ETICS. Verificou-se que o produto H2 (à base de siloxano) é o que apresenta maior compatibilidade com o ETICS, respeitando a cinética de secagem e permeabilidade do sistema. Também o produto H1 apresentou uma compatibilidade adequada, sendo o produto H3 o que causa maiores alterações na secagem e permeabilidade ao vapor de água do sistema. Em termos de repelência à água, todos os produtos foram eficazes, destacando-se o produto H3 com menor absorção. De facto, o produto de proteção H3 é o mais impermeável, tanto à água líquida como ao vapor de água.

Curiosamente, é necessário realçar que o produto de proteção H1 apresentou um bom desempenho no sistema ETICS como sistema de proteção hidrorrepelente, apesar de ser uma tinta comercial genérica, não sendo especificada como hidrorrepelente como as restantes duas estudadas.

Em termos da durabilidade da proteção, todos os produtos evidenciaram um bom desempenho, mantendo a eficácia hidrorrepelente, e ainda, os produtos H1 e H2 demonstraram proteger o sistema, permitindo melhorar a permeabilidade ao vapor de água com o envelhecimento da solução. Contudo, não foi avaliada uma possível perda de eficácia hidrorrepelente destes produtos associada a outros fatores não considerados no presente estudo, como a radiação UV, por exemplo.

Em conclusão, considera-se que a presente dissertação deu um contributo significativo para o conhecimento dos mecanismos de ação deste tipo de soluções de proteção à água, permitindo aferir que estas tintas podem ser aplicadas a sistemas ETICS com a finalidade de aumentar a sua durabilidade. No entanto, mais estudos que complementem o presente estudo devem ser realizados.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Os resultados obtidos no presente estudo revelaram que as soluções de tinta como produtos de proteção à água de sistema ETICS são soluções bastante promissoras. No entanto, durante o estudo ficou claro que ainda existem algumas lacunas no conhecimento do desempenho e durabilidade deste tipo de produtos, particularmente em sistemas ETICS, dada a sua complexa formulação. De forma a obter um conhecimento mais consolidado e complementar o trabalho desenvolvido sobre este tipo de produtos de proteção, os seguintes aspetos são recomendados para desenvolvimentos futuros:

- Estudar a influência de hidrófugos formadores de película (tintas) em suportes com envelhecimento natural; desta forma, pretende-se avaliar o contributo dos produtos de proteção deste tipo nas políticas de manutenção e reabilitação;
- Estudar as propriedades químicas e/ou mineralógicas dos revestimentos e relacioná-las com o seu comportamento e durabilidade;
- Realizar ensaios de envelhecimento natural, com o intuito de complementar a informação obtida nos ensaios de envelhecimento artificial acelerado;
- Avaliar os efeitos da radiação UV no envelhecimento dos revestimentos;
- Avaliar os efeitos do TiO_2 presente nos revestimentos estudados quando expostos à radiação UV em termos de absorção de água;
- Avaliar os efeitos de uma repintura, em caso de reabilitação (aumento da espessura do acabamento), especialmente com o objetivo de avaliar os efeitos na cinética de secagem do sistema e permeabilidade ao vapor de água;
- Realizar uma análise da porosidade das superfícies protegidas e não protegidas, antes e após envelhecimento, de forma a confirmar as hipóteses sugeridas de alteração da porosidade.

Referências

- [1] Energy Performance of Building Directive (EPBD), “Directive 2010-31-EU of the European Parliament and of the Council.”, *Official Journal of the European*, 2010.
- [2] Veiga, M. R.; Santos, C., “Revestimentos de isolamento térmico de fachadas: eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade.”, *Construção Magazine*, nº 32, 2006.
- [3] APFAC, “Manual ETICS”, 2018. [Online]. Available: <https://www.apfac.pt/uploads/documentos/APFAC-MANUAL-ETICS-2018.pdf>. [Acedido em Setembro 2020].
- [4] Borsoi, G.; Esteves, C.; Flores-Colen, I.; Veiga, R., “Effect of Hygrothermal Aging on Hydrophobic Treatments Applied to Building Exterior Claddings”, *Coatings*, vol. 10, p. 363, 2020.
- [5] Barreira, E.; Freitas, V. P., “Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal insulation Composite Systems (ETICS)”, *Building and Environmet*, vol. 63, p. 31-39, 2013.
- [6] McGettigan, E., “Factors Affecting the Selection of Water-Repellent Treatments”, *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, vol. 26, nº 4, p. 22-26, 1995.
- [7] Esteves, C.; Ahmed, H.; Flores-Colen, I; Veiga, R., “The influence of hydrophobic protection on building exterior claddings”, *Journal of Coatings Technology and Research*, vol. 16, p. 1379-1388, 2019.
- [8] Ferreira Pinto, A. P., “Conservação de pedras graníticas : estudo da acção de hidrófugos”, Dissertação de Mestrado apresentada ao IST, Edição LNEC, Lisboa, 1994.
- [9] Agência Portuguesa do Ambiente , “Protocolo de Quioto”, [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>. [Acedido em 11 2020].
- [10] Agência portuguesa do Ambiente , “Acordo de Paris”, [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=1367>. [Acedido em 10 2020].
- [11] Malanho, S.; Veiga, M. R., “Desempenho à água de ETICS com materiais sustentáveis: influência das características da argamassa.”, no *Congresso "Conpat 2015"*, Lisboa: IST, 2015.
- [12] Malanho, S; Veiga, M.R, “Bond strength between layers of ETICS - Influence of the characteristics of mortars and insulation materials”, *Journal of Building Engineering*, vol. 28, 2020.
- [13] Barreira, E., “Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho hidrotérmico.”, Tese de doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [14] Barreira, E; Freitas, V. P., “External Thermal Insulation Composite Systems: Critiical Parameters for surface Hygrothermal Behaviour”, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2014, 650752, 2014.
- [15] Veiga, M. R.; Malanho, S., “Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes”, no *3º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*, APFAC, Lisboa, 2010.
- [16] Veiga, M. R.; Malanho, S., “Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)”, LNEC, Lisboa, 2010.

- [17] EOTA (2013), *Guideline for European Technical Approval of External Insulation Composite Systems (ETICS) with rendering. ETAG 004.*, Brussels: European Organization for Technical Approvals.
- [18] Freire, B, “Reabilitação térmica de fachadas de edifícios com sistemas de isolamento pelo exterior”, Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2015.
- [19] Viero, “Manuale cappotto termico VieroClima per artigiani”, [Online]. Available: <https://www.viero-coatings.it/download/manuale-vieroClima-artigiano/>. [Acedido em Setembro 2020].
- [20] Ribeiro, N., “Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior. Condições de aplicação e utilização na reabilitação térmica dos edifícios”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.
- [21] Marques, C., “Aplicação do método factorial à previsão da vida útil de ETICS”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2016.
- [22] Veiga, M. R; Malanho, S., “Isolamento e impermeabilização de fachadas: contribuição dos revestimentos”, *Construção Magazine*, vol. 54, p. 22-25, 2013.
- [23] Ximenes, S.; Brito, J.; Gaspar, P.L.; Silva, A., “Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls”, *Materials and Structures*, vol. 48, nº 7, 2015.
- [24] NORVAIŠIENĖ, R; GRICIUTĖ, G; BLIŪDŽIUS, R; RAMANAUSKAS, J, “The Changes of Moisture Absorption Properties during the Service Life of External Thermal Insulation Composite System”, *Materials Science*, vol. 19, nº 1, 2013.
- [25] Borsoi, G; Veigas, C.A; De Cooman, Q; Flores-Colen, I; Veiga, R; Faria, P; Nunes, L., “Defying a methodology to assess microbiological colonization on ETICS façades: the study case of Boavista”, Relatório CERIS, CERIS, Técnico Lisboa, 2019.
- [26] Ladeira, J, “Avaliação em serviço de sistemas de isolamento térmico pelo exterior em fachadas”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2011.
- [27] Cooman, Q, “Methodology to assess microbiological colonization on ETICS façades”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2019.
- [28] Johansson, S; Wadsö, L; Sandin, K, “Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements”, *Building and Environmet*, vol. 45, p. 1153-1160, 2010.
- [29] Flores-Colen, I; Brito, J; Freitas, V.P., “Técnicas de Diagnóstico e de Manutenção para Remoção de Manchas em Paredes Rebocadas”, no *1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC*, Lisboa, 2005.
- [30] Silva, L; Flores-Colen, I; Veira, N; Timmons, A.B; Sequeira, P, “Durability of ETICS and Premixed One-Coat Renders in Natural Exposure”, *New Approaches to Building Pathology and Durability, Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 6, Delgado, J.M.P.Q., Ed.; Springer: Singapore, p. 131-158, 2016.
- [31] Malanho, S; Veiga, M.R., “Técnicas e exigências adaptadas para ETICS não abrangidos pelo ETAG 004”, *Argamassas 2014 – I Simpósio de Argamassas e soluções Térmicas de Revestimento*, Coimbra: ITeCons, 2014.

- [32] Charola, A. E., "Water Repellents and Other "Protective" Treatments: A Critical Review", *Hydrophobe III - 3rd International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents*, 2001.
- [33] Charola, A.E., Delgado Rodrigues, J.; Vale Anjos, M., "An Unsatisfactory Case of Water Repellents Applied to Control Biocolonization", *Hydrophobe V - 5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, 2008.
- [34] Esteves, C., "O Comportamento de Hidrófugos de Superfície em Revestimentos Exteriores", Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2014.
- [35] Medeiros, M., "Contribuição ao estudo da durabilidade de concreto com proteção superficial frente à ação de íons cloretos", Tese de Douturamento em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- [36] Meier, S.J.; Wittmann, F.H., "Recommendations for Water Repellent Surface Impregnation of Concrete", *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 17, 6, p. 347-358, 2011.
- [37] Vries, J.; Polder, R., "Hydrophobic treatment of concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 11, 4, p. 259-265, 1997.
- [38] Kus, H., "Long- term performance of water repellants on rendered autoclaved aerated concrete", PhD Dissertation, Centre For Built Environment, University of Gävle, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2002.
- [39] Roos, M.; König, F.; S., Stadtmüller; B., Weyershausen, "Evolution of silicone based water repellents for modern building protection", no *5th International conference on water repellent treatments of building materials*, Bruxelas, 2008.
- [40] Xambre, T., "Evolução da ação de tratamentos hidrófugos aplicados em variedades carbonatadas portuguesas expostas a ambiente urbano", Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2019.
- [41] Torraca, G., *Porous Building Materials. Materials Science for Architectural Conservation*, 3rd Edition, Rome, Italy: ICCROM, 1981.
- [42] Charola, A. E., "Water-Repellent Treatments for Building Stones: A Practical Overview", *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, vol. 26, 2/3, p. 10-17, 1995.
- [43] Yoon, Y.; Kim, D.; Lee, J., "Hierarchical micro/nano structures for super-hydrophobic surfaces and super-lyophobic surface against liquid metal", *Micro and Nano Systems Letters*, vol. 3, 2, 2014.
- [44] Bader, T.; Waldner, B.J.; Unterberger, S.H.; Lackner, R., "On the performance of film formers versus penetrants as water-repellent treatment of High-Performance Concrete (HPC) surfaces", *Construction and Building Materials*, vol. 203, p. 481-490, 2019.
- [45] Ershad-Langroudi, A.; Fadaei, H.; Ahmadi, K., "Application of polymer coatings and nanoparticles in consolidation and hydrophobic treatment of stone monuments", *Iranian Polymer Journal*, vol. 28, p. 1-119, 2019.
- [46] Bader, t.; Unterberger, S.H.; Lackner, R., "Effect of substrate moisture on the weatherability of surface treatment for High-Performance Concrete (HPC)", *Cement and Concrete Composites*, vol. 83, p. 57-65, 2017.
- [47] Pan, X.; Shi, Z.; Shi, C.; Ling, T.; Li, N., "A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms", *Construction and Building Materials*, vol. 132, p. 578-590, 2017.

- [48] Couto, S.; Gonçalves, T.D.; Lopes, J.M.G., "Drying of Red Ceramic Brick. Effect of five Silicone-based Water-Repellent Treatments", *Hydrophobe VI - 6th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, 2011.
- [49] Levi, M.; Ferro, C.; Regazzoli, D.; Dotelli, G.; Lo Presti, A., "Comparative evaluation method of polymer surface treatments applied on high performance concrete", *Journal of Materials Science*, vol. 37, p. 4881-4888, 2002.
- [50] De Clereq, H.; De Witte, E., "Effectiveness of Commercial Silicon Based Water Repellents at Different Application Conditions", *Hydrophobe III - 3rd International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents*, 2001.
- [51] Raupach, M.; Wolff, L., "Long-term durability of hydrophobic treatment on concrete", *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, vol. 88, p. 127-133, 2005.
- [52] Sabatini, V.; Pargoletti, E.; Longoni, M.; Farina, H.; Ortenzi, M.A.; Cappelletti, G., "Stearyl methacrylate co-polymers: Towards new polymer coatings for mortars protection", *Applied Surface Science*, vol. 488, p. 213-220, 2019.
- [53] Cappelletti, G.; Fermo, P.; Pino, F.; Pargoletti, E.; Pecchioni, E.; Fratini, F.; Ruffolo, S.A.; La Russa, M.F., "On the role of hydrophobic Si-based protective coatings in limiting mortar deterioration", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, p. 17733-17743, 2015.
- [54] Carmona-Quiroga, P.M.; Martínez-Ramírez, S.; Sánchez de Rojas, M.I.; Blanco-Varela, M.T., "Surface water repellent-mediated change in lime mortar colour and gloss", *Construction and Building Materials*, vol. 24, p. 2188-2193, 2010.
- [55] ISO 2811-1 (2016), "Paints and Varnishes - Determination of density - Part 1: Pycnometer method" *International Organization of Standardization*.
- [56] Costa, C.; Carvalho, P.; de Almeida, J.C.; Bordado, J.C.; Nunes, A., "Argamassas de Base Cimentícia por Microscopia Electrónica de Varrimento", *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, p. 31-35, 2009.
- [57] Parracha, J.L.; Borsoi, G.; Flores-Colen, I.; Veiga, R.; Nunes, L.; Dionísio, A.; Glória Gomes, M.; Faria, P., "Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties", *Construction and Building Materials*, vol. 272, 121956, 2021.
- [58] EN 16322 (2013), "Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties" *European Committee for Standardization (CEN), Brussels*.
- [59] LNEC - Departamento de Edifícios - Núcleo de comportamento de construções, "Revestimentos de Paredes - Ensaio de Absorção de água sob baixa pressão", *Ficha de Ensaio Pa 39.1*, Junho 2002.
- [60] RILEM, "Water absorption under low pressure. Pipe method.", *Test N°II.4. Tentative Recommendations, Paris*, 1980.
- [61] EN 998-1 (2010), "Specification for mortar for masonry. Part 1: rendering and plastering mortar" *Comité Européen de Normalisation (CEN), Brussels*.
- [62] ASTM (2017), "Determining the resistance of paint films and related coatings to fungal defacement by accelerated four-week agar plate assay." *ASTM International. ASTM D5590-17:2017, Pennsylvania, USA*.
- [63] ASTM (2019), "Standard test method for determining fungi resistance of insulation materials and facings." *ASTM International. ASTM C1338-19:2019, Pennsylvania, USA*.

- [64] Parracha, J.L., Cortay, A., Borsoi, G., Veiga, M.R., Nunes, L., "Evaluation of ETICS characteristics that affect surface mould development", no *XV International Conference on Durability of Building Materials and Components, DBMC 2020*, Barcelona, Spain, 2020.
- [65] Hoang, CP; Kinney, KA; Corsi, RL; Szaniszló, PJ, "Resistance of green building materials to fungal growth", *International Biodeterioration & Biodegradation* 64, p. 104-113, 2010.
- [66] Verdier, T; Coutand, M; Bertron, A; Roques, C;, "A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods", *Building and Environment* 80, p. 136-149, 2014.
- [67] EN 1015-21 (2002), "Methods of test for mortar for masonry Part 21: Determination of the comparability of one-coat rendering mortars", *Committee for Standardization (CEN)* .
- [68] Quagliarini, E.; Bondioli, F.; Goffredo, G.B.; Licciulli, A.; Munafo, P., "Self-cleaning materials on Architectural Heritage: Compatibility of photo-induced hydrophilicity of TiO₂ coatings on stone surfaces", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 14, 1, p. 1-7, 2013.
- [69] Féat, A.; Federle, W.; Kamperman, M.; Murray, M.; Van der Gucht, J; Taylor, P., "Slippery paints: Eco-friendly coatings that cause ants to slip", *Progress in Organic Coatings*, vol. 135, p. 331-334, 2019.
- [70] Jiang, W.; Jin, X.; Li, H.; Zhang, S.; Zhou, T.; Xie, H., "Modification of nano-hybrid silicon acrylic resin with anticorrosion and hydrophobic properties", *Polymer Testing*, vol. 82, 2020.
- [71] Selley, D., "Chemical considerations for making low-VOC silicon-based water repellents", *Journal of Coatings Technology and Research*, vol. 7,1, pp. 26-35, 2010.
- [72] Topçuoğlu, Ö; Altinkaya, S.A.; Balköse, D., "Characterization of waterborne acrylic based paint films and measurement of their water vapor permeabilities", *Progress in Organic Coatings*, vol. 56, 4, p. 269-278, 2006.
- [73] Farinha, C.; De Brito, J., Veiga, R., Lucas, J., "Reduction of cement content in renderings with fine sanitary ware aggregates", *Materials and Structures*, vol. 49, p. 1605-1618, 2016.
- [74] Oliveira, R.; De Brito, J.; Veiga, R., "Incorporation of fine glass aggregates in renderings", *Construction and Building Materials*, vol. 44, p. 329-341, 2013.
- [75] Farinha, C.; De Brito, J.; Veiga, R., "Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars", *Construction and Building Materials*, vol. 83, p. 194-206, 2015.
- [76] Xiong, H.; Yuan, K.; Wen, M.; Yu, A.; Xu, J., "Influence of pore structure on the moisture transport property of external thermal insulation composite system as studied by NMR", *Construction and Building Materials*, vol. 228, 2019.
- [77] Schoknecht, U.; Gruycheva, J.; Mathies, H.; Bergmann, H.; Burkhardt, M., "Leaching of Biocides Used in Fac,ade Coatings under Laboratory Test Conditions", *Environmental Science & Technology*, vol. 43,24, p. 9321-9328, 2009.
- [78] Verdier, T.; Bertron, A.; Erable, B.; Roques, C., "Bacterial Biofilm Characterization and Microscopic Evaluation of the Antibacterial Properties of a Photocatalytic Coating Protecting Building Material", *Coatings*, 8, p. 93, 2018.

Anexos

Anexo I - Microfotografias da secção transversal do sistema ETICS utilizado com e sem proteção

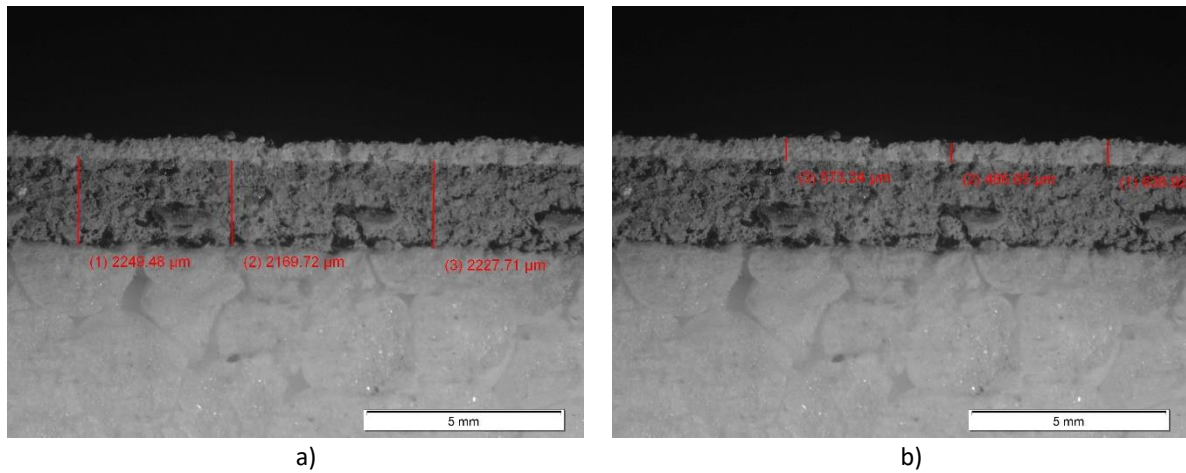


Figura A.1 – Microfotografias da secção transversal do sistema ETICS estudado com dimensões; a) dimensões da camada de base; b) dimensões da camada de acabamento.

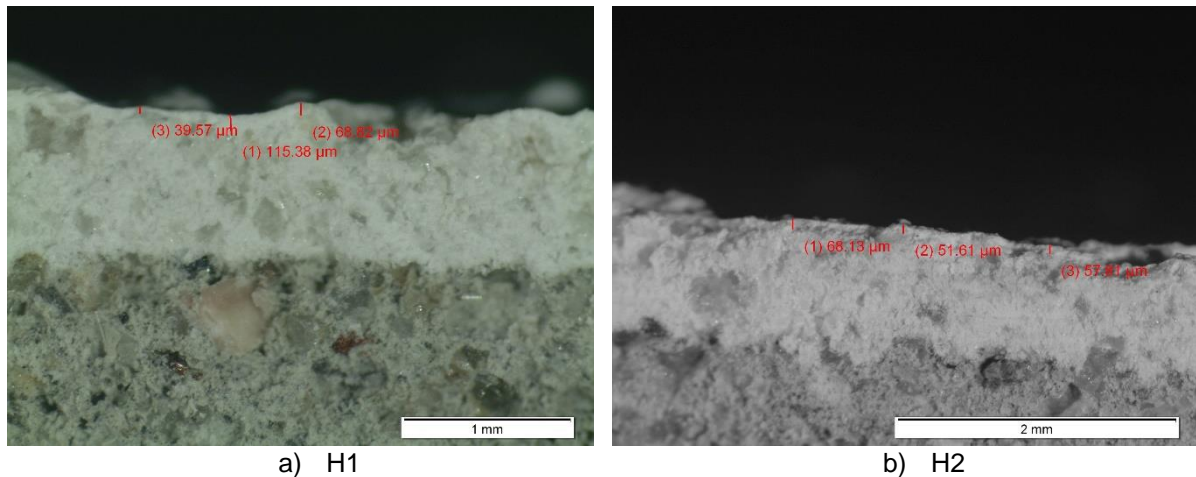


Figura A.2 – Microfotografias da secção transversal do sistema ETICS com dimensões da espessura das tintas; a) H1; b) H2.

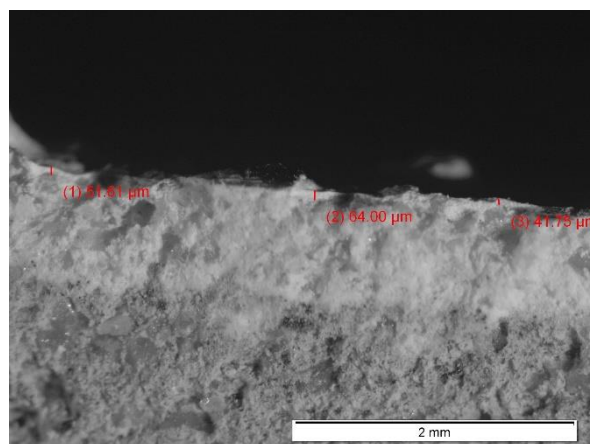


Figura A.3 – Microfotografia da secção transversal do sistema ETICS com dimensões da espessura de tinta H3.

Anexo II – Resultados do ensaio de absorção por capilaridade

I) Antes do envelhecimento

Tabela A.1 – Massas medidas ao longo do tempo do ensaio de absorção por capilaridade antes do envelhecimento

	Massas (g)					
	Seca	3 min	1 hora	4 horas	8 horas	24 horas
H0.1	121,49	123,9	125,33	128,04	129,88	133,63
H0.2	129,86	132,66	134,49	137,41	138,89	142,75
H0.3	121,83	124,17	125,61	128,24	130,2	134,49
H1.1	145,45	147,64	149,44	151,85	153,62	157,09
H1.2	129,33	131,18	133,07	135,45	136,88	140,47
H1.3	133,03	134,75	136,66	139,05	140,58	144,01
H2.1	123,28	125,04	126,72	129,08	130,78	134,27
H2.2	126,79	128,70	130,31	132,44	134,19	137,54
H2.3	122,97	125,03	126,67	128,93	130,52	133,82
H3.1	127,570	129,370	131,140	133,370	135,270	137,990
H3.2	118,480	120,100	121,830	123,790	125,550	128,280
H3.3	118,850	120,400	122,240	124,380	126,050	128,860

Tabela A.2 – Valores de absorção de água, coeficiente de capilaridade e áreas de absorção para cada provete ensaiado no ensaio de absorção de água por capilaridade antes de envelhecimento artificial acelerado.

Tempo (h)	0,05	1	4	8	24	Área (m ²)	Coeficiente de Capilaridade Cc (kg/m ² .h ^{0,5})
t (h ^{0,5})	0,22	1,00	2,00	2,83	4,90		
Absorção de água (kg/m²)							
H0.1	0,109	0,174	0,296	0,380	0,549	0,0221	0,488
H0.2	0,126	0,208	0,340	0,406	0,580	0,0222	0,564
H0.3	0,105	0,170	0,288	0,376	0,569	0,0222	0,470
H0 médio	0,113	0,184	0,308	0,387	0,566	0,0222	0,507
desvio padrão	0,009	0,017	0,023	0,014	0,013	0,0001	0,040
H1.1	0,099	0,180	0,288	0,368	0,524	0,0222	0,441
H1.2	0,082	0,167	0,273	0,336	0,496	0,0224	0,369
H1.3	0,077	0,162	0,269	0,337	0,491	0,0224	0,344
H1 médio	0,086	0,169	0,277	0,347	0,504	0,0223	0,384
desvio padrão	0,009	0,007	0,008	0,015	0,015	0,0001	0,041
H2.1	0,076	0,149	0,252	0,325	0,477	0,0230	0,342
H2.2	0,087	0,160	0,256	0,336	0,488	0,0220	0,388
H2.3	0,092	0,164	0,265	0,335	0,482	0,0225	0,409
H2 médio	0,085	0,158	0,258	0,332	0,482	0,0225	0,379
desvio padrão	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,0004	0,028
H3.1	0,082	0,162	0,263	0,349	0,473	0,0220	0,365
H3.2	0,071	0,146	0,232	0,309	0,428	0,0229	0,316
H3.3	0,068	0,148	0,242	0,315	0,438	0,0229	0,303
H3 médio	0,073	0,152	0,246	0,324	0,446	0,0226	0,328
desvio padrão	0,006	0,007	0,013	0,018	0,019	0,0004	0,027

II) Após envelhecimento

Tabela A.3 – Massas medidas ao longo do tempo do ensaio de absorção por capilaridade após envelhecimento

	Massas (g)					
	Seca	3 min	1 hora	4 horas	8 horas	24 horas
H0.4	148,86	149,8	150,22	150,97	151,56	153,17
H0.5	138,56	139,54	140,11	141,51	143,29	145,76
H0.6	133,82	135,31	135,84	136,48	137,04	138,04
H1.4	166,03	166,79	166,92	167,99	168,19	169,19
H1.5	139,38	140,65	140,7	140,75	141,23	141,42
H1.6	145,10	145,74	146,14	146,68	147,19	147,97
H2.4	147,78	148,79	148,87	149,15	149,35	150,02
H2.5	130,08	130,95	131,29	131,71	131,93	132,74
H2.6	142,04	142,86	143,53	143,66	143,98	144,83
H3.4	140,400	140,930	141,040	141,470	141,620	142,280
H3.5	150,140	150,590	150,990	151,330	151,480	152,070
H3.6	134,950	135,450	135,730	135,890	136,270	137,070

Tabela A.4 – Valores de absorção de água, coeficiente de capilaridade e áreas de absorção para cada provete ensaiado no ensaio de absorção de água por capilaridade após envelhecimento artificial acelerado.

Tempo (h)	0,05	1	4	8	24	Área (m ²)	Coeficiente de Capilaridade Cc (kg/m ² .h ^{0,5})
t (h ^{0,5})	0,22	1,00	2,00	2,83	4,90		
Absorção de água (kg/m ²)							
H0.1	0,042	0,061	0,094	0,120	0,192	0,0224	0,187
H0.2	0,044	0,069	0,132	0,211	0,322	0,0224	0,196
H0.3	0,067	0,091	0,120	0,145	0,190	0,0222	0,300
H0 médio	0,051	0,074	0,115	0,159	0,235	0,0223	0,228
desvio padrão	0,011	0,013	0,016	0,038	0,062	0,0001	0,051
H1.1	0,034	0,040	0,089	0,098	0,143	0,0221	0,154
H1.2	0,057	0,059	0,061	0,083	0,091	0,0224	0,254
H1.3	0,029	0,047	0,072	0,095	0,130	0,0221	0,130
H1 médio	0,040	0,049	0,074	0,092	0,121	0,0222	0,179
desvio padrão	0,012	0,008	0,011	0,006	0,022	0,0001	0,054
H2.1	0,045	0,049	0,062	0,070	0,101	0,0223	0,203
H2.2	0,039	0,054	0,073	0,083	0,119	0,0224	0,174
H2.3	0,036	0,065	0,071	0,085	0,122	0,0228	0,161
H2 médio	0,040	0,056	0,068	0,079	0,114	0,0225	0,179
desvio padrão	0,004	0,007	0,005	0,006	0,010	0,0002	0,018
H3.1	0,024	0,029	0,048	0,055	0,085	0,0222	0,107
H3.2	0,020	0,037	0,052	0,059	0,085	0,0228	0,088
H3.3	0,023	0,036	0,043	0,060	0,097	0,0219	0,102
H3 médio	0,022	0,034	0,048	0,058	0,089	0,0223	0,099
desvio padrão	0,002	0,004	0,004	0,002	0,006	0,0004	0,008

Anexo III – Resultados do ensaio de secagem

I) Antes do envelhecimento

Tabela A.5 – Valores da água retida em cada provete ao longo do ensaio de secagem antes do envelhecimento – valores individuais, médios e respetivo desvio padrão

Tempo	inicial	10 min	20min	30min	1h	2h	4h	6h	8h	24h	48h	72h	144h
min	0	10	20	30	60	120	240	360	480	1440	2880	4320	8640
min ^{0,5}	0	3	4	5	8	11	15	19	22	38	54	66	93
Água Retida (kg/m ²)													
H0.1	0,549	0,519	0,497	0,477	0,447	0,420	0,393	0,372	0,358	0,269	0,177	0,121	0,064
H0.2	0,580	0,550	0,529	0,509	0,473	0,442	0,413	0,393	0,375	0,281	0,186	0,128	0,074
H0.3	0,569	0,537	0,514	0,490	0,460	0,433	0,409	0,391	0,375	0,289	0,195	0,138	0,075
H0	0,566	0,535	0,513	0,492	0,460	0,432	0,405	0,385	0,370	0,280	0,186	0,129	0,071
desvio padrão	0,013	0,013	0,013	0,013	0,011	0,009	0,009	0,010	0,008	0,008	0,007	0,007	0,005
H1.1	0,524	0,501	0,486	0,477	0,459	0,434	0,413	0,413	0,388	0,312	0,241	0,190	0,140
H1.2	0,496	0,473	0,458	0,449	0,429	0,407	0,385	0,370	0,358	0,279	0,206	0,156	0,107
H1.3	0,491	0,469	0,457	0,450	0,432	0,412	0,392	0,379	0,369	0,299	0,231	0,181	0,131
H1	0,504	0,481	0,467	0,459	0,440	0,418	0,397	0,387	0,372	0,297	0,226	0,176	0,126
desvio padrão	0,015	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,019	0,012	0,014	0,015	0,014	0,014
H2.1	0,477	0,455	0,438	0,427	0,408	0,387	0,364	0,348	0,334	0,241	0,155	0,103	0,050
H2.2	0,488	0,465	0,443	0,428	0,406	0,383	0,358	0,343	0,328	0,235	0,152	0,102	0,051
H2.3	0,482	0,460	0,439	0,424	0,400	0,374	0,348	0,328	0,313	0,211	0,126	0,078	0,030
H2	0,482	0,460	0,440	0,427	0,405	0,381	0,357	0,340	0,325	0,229	0,145	0,094	0,044
desvio padrão	0,004	0,004	0,002	0,002	0,003	0,005	0,007	0,008	0,009	0,013	0,013	0,011	0,010
H3.1	0,473	0,464	0,441	0,434	0,419	0,402	0,385	0,372	0,361	0,302	0,243	0,196	0,149
H3.2	0,428	0,406	0,397	0,389	0,374	0,358	0,340	0,327	0,315	0,254	0,194	0,152	0,110
H3.3	0,438	0,416	0,406	0,399	0,385	0,369	0,351	0,338	0,327	0,264	0,205	0,161	0,117
H3	0,446	0,429	0,415	0,407	0,392	0,376	0,358	0,345	0,334	0,273	0,214	0,170	0,125
desvio padrão	0,019	0,025	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,020	0,021	0,019	0,017

Tabela A.6 – Cálculo do Is para cada provete antes do envelhecimento – valores individuais

Proвете	Integral	$((M3-M1)/M1)*t$	IS	IS Médio	Desvio Padrão
H0.1	1,671	14,389	0,116		
H0.2	1,830	14,294	0,128	0,125	0,006
H0.3	1,962	14,964	0,131		
H1.1	3,069	11,524	0,266		
H1.2	2,661	12,404	0,215	0,249	0,025
H1.3	3,172	11,885	0,267		
H2.1	1,433	12,837	0,112		
H2.2	1,283	12,209	0,105	0,110	0,003
H2.3	1,421	12,706	0,112		
H3.1	3,714	11,762	0,316		
H3.2	3,051	11,911	0,256	0,280	0,026
H3.3	3,247	12,128	0,268		

II) Após envelhecimento

Tabela A.7 – Valores da água retida em cada provete ao longo do ensaio de secagem após envelhecimento – valores individuais, médios e respetivo desvio padrão

Tempo	inicial	10 min	20min	30min	1h	2h	4h	6h	8h	24h	48h
min	0	10	20	30	60	120	240	360	480	1440	2880
min0,5	0,00	3,16	4,47	5,48	7,75	10,95	15,49	18,97	21,91	37,95	53,67
Água Retida (kg/m ²)											
H0.1	0,192	0,166	0,140	0,116	0,084	0,081	0,076	0,070	0,067	0,046	0,028
H0.2	0,322	0,293	0,267	0,243	0,203	0,197	0,189	0,181	0,177	0,137	0,089
H0.3	0,190	0,162	0,134	0,111	0,092	0,089	0,085	0,079	0,075	0,051	0,030
H0	0,235	0,207	0,180	0,157	0,126	0,122	0,116	0,110	0,106	0,078	0,049
desvio padrão	0,062	0,061	0,061	0,061	0,054	0,053	0,051	0,050	0,050	0,042	0,029
H1.1	0,143	0,117	0,096	0,081	0,067	0,061	0,056	0,052	0,049	0,035	0,020
H1.2	0,091	0,070	0,060	0,057	0,054	0,051	0,047	0,044	0,043	0,030	0,018
H1.3	0,130	0,106	0,088	0,082	0,077	0,073	0,069	0,063	0,059	0,044	0,029
H1	0,121	0,097	0,081	0,073	0,066	0,062	0,057	0,053	0,051	0,036	0,022
desvio padrão	0,022	0,020	0,015	0,012	0,009	0,009	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005
H2.1	0,101	0,072	0,056	0,050	0,047	0,044	0,040	0,038	0,034	0,024	0,017
H2.2	0,119	0,089	0,074	0,071	0,067	0,064	0,059	0,056	0,052	0,036	0,023
H2.3	0,122	0,096	0,086	0,082	0,079	0,075	0,071	0,068	0,063	0,045	0,029
H2	0,114	0,085	0,072	0,068	0,064	0,061	0,057	0,054	0,050	0,035	0,023
desvio padrão	0,010	0,010	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,009	0,005
H3.1	0,085	0,062	0,052	0,048	0,044	0,042	0,039	0,037	0,035	0,024	0,014
H3.2	0,085	0,063	0,057	0,055	0,053	0,049	0,047	0,046	0,043	0,033	0,025
H3.3	0,097	0,076	0,072	0,068	0,066	0,063	0,060	0,058	0,057	0,042	0,027
H3	0,089	0,067	0,060	0,057	0,054	0,052	0,048	0,047	0,045	0,033	0,022
desvio padrão	0,006	0,006	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,007	0,006

Tabela A.8 – Cálculo do Is para cada provete antes do envelhecimento – valores individuais

Proвете	Soma integral	$((M3-M1)/M1)*t$	IS	IS médio	desvio Padrão
H0.1	0,200	1,390	0,144		
H0.2	0,693	2,494	0,278	0,193	0,060
H0.3	0,237	1,514	0,156		
H1.1	0,127	0,914	0,139		
H1.2	0,138	0,703	0,196	0,186	0,035
H1.3	0,212	0,949	0,223		
H2.1	0,123	0,728	0,170		
H2.2	0,192	0,982	0,195	0,202	0,029
H2.3	0,226	0,943	0,240		
H3.1	0,109	0,643	0,170		
H3.2	0,182	0,617	0,295	0,250	0,056
H3.3	0,213	0,754	0,283		

Anexo IV – Resultados do ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão - Tubos de Karsten

l) Antes do envelhecimento

Tabela A.9 – Valores individuais e médios da água absorvida e do coeficiente de absorção de água aos 60 min do ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten antes do envelhecimento

Provetes	Tubo	Absorção (ml)						Área (m ²)	C60 (kg/m ² .h ^{0,5})
		3 min	30 min	1h	4 h	8 h	24 h		
H0.1	1	0,08	0,09	0,10	0,11	0,15	0,30	0,00057	0,175
	2	0,08	0,09	0,10	0,10	0,15	0,29		0,175
H0.2	1	0,00	0,02	0,04	0,08	0,10	0,25		0,070
	2	0,03	0,08	0,08	0,09	0,11	0,21		0,140
H0.3	1	0,05	0,08	0,08	0,09	0,11	0,20		0,140
	2	0,02	0,05	0,05	0,07	0,10	0,20		0,088
H0 médio	-	0,04	0,07	0,08	0,09	0,12	0,24	0,00057	0,132
desvio padrão	-	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	-	0,040
H1.1	1	0,01	0,05	0,07	0,09	0,10	0,19	0,00057	0,123
	2	0,05	0,05	0,07	0,10	0,11	0,25		0,123
H1.2	1	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,13		0,018
	2	0,05	0,09	0,10	0,10	0,15	0,25		0,175
H1.3	1	0,05	0,05	0,05	0,08	0,10	0,19		0,088
	2	0,05	0,05	0,07	0,09	0,10	0,20		0,123
H1 médio	-	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,20	0,00057	0,108
desvio padrão	-	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	-	0,048
H2.1	1	0,05	0,05	0,05	0,08	0,10	0,20	0,00057	0,088
	2	0,05	0,05	0,08	0,08	0,10	0,20		0,140
H2.2	1	0,05	0,05	0,08	0,10	0,15	0,20		0,140
	2	0,05	0,05	0,07	0,10	0,12	0,22		0,123
H2.3	1	0,05	0,08	0,08	0,09	0,10	0,20		0,140
	2	0,05	0,05	0,05	0,10	0,11	0,25		0,088
H2 médio	-	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,21	0,00057	0,120
desvio padrão	-	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	-	0,024
H3.1	1	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,19	0,00057	0,000
	2	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,19		0,018
H3.2	1	0,00	0,01	0,05	0,05	0,10	0,15		0,088
	2	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,15		0,035
H3.3	1	0,01	0,05	0,05	0,05	0,10	0,13		0,088
	2	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13		0,035
H3 médio	-	0,00	0,01	0,03	0,04	0,07	0,16	0,00057	0,044
desvio padrão	-	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	-	0,033

Tabela A.10 – Valores individuais e médios da água absorvida ao longo do ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten antes do envelhecimento

Provetes	Tubo	Área (m ²)	Absorção (kg/m ²)					
			3min	30 min	1h	4h	8h	24h
H0.1	1	0,00057	0,140	0,158	0,175	0,193	0,263	0,526
	2		0,140	0,158	0,175	0,175	0,263	0,509
H0.2	1	0,00057	0,000	0,035	0,070	0,140	0,175	0,439
	2		0,053	0,140	0,140	0,158	0,193	0,368
H0.3	1	0,00057	0,088	0,140	0,140	0,158	0,193	0,351
	2		0,035	0,088	0,088	0,123	0,175	0,351
H0 médio		0,00057	0,076	0,120	0,132	0,158	0,211	0,424
Desvio padrão		-	0,052	0,045	0,040	0,023	0,038	0,073
H1.1	1	0,00057	0,018	0,088	0,123	0,158	0,175	0,333
	2		0,088	0,088	0,123	0,175	0,193	0,439
H1.2	1	0,00057	0,000	0,000	0,018	0,018	0,088	0,228
	2		0,088	0,158	0,175	0,175	0,263	0,439
H1.3	1	0,00057	0,088	0,088	0,088	0,140	0,175	0,333
	2		0,088	0,088	0,123	0,158	0,175	0,351
H1 médio		0,00057	0,061	0,085	0,108	0,137	0,178	0,354
Desvio padrão		-	0,038	0,046	0,048	0,055	0,051	0,072
H2.1	1	0,00057	0,088	0,088	0,088	0,140	0,175	0,351
	2		0,088	0,088	0,140	0,140	0,175	0,351
H2.2	1	0,00057	0,088	0,088	0,140	0,175	0,263	0,351
	2		0,088	0,088	0,123	0,175	0,211	0,386
H2.3	1	0,00057	0,088	0,140	0,140	0,158	0,175	0,351
	2		0,088	0,088	0,088	0,175	0,193	0,439
H2 médio		0,00057	0,088	0,096	0,120	0,161	0,199	0,371
Desvio padrão		-	0,000	0,020	0,024	0,016	0,031	0,033
H3.1	1	0,00057	0,000	0,000	0,000	0,035	0,088	0,333
	2		0,018	0,018	0,018	0,088	0,088	0,333
H3.2	1	0,00057	0,000	0,018	0,088	0,088	0,175	0,263
	2		0,000	0,000	0,035	0,053	0,088	0,263
H3.3	1	0,00057	0,018	0,088	0,088	0,088	0,175	0,228
	2		0,000	0,018	0,035	0,088	0,158	0,228
H3 médio		0,00057	0,006	0,023	0,044	0,073	0,129	0,275
Desvio padrão		-	0,008	0,030	0,033	0,021	0,041	0,044

II) Após envelhecimento

Tabela A.11 – Valores individuais e médios da água absorvida e do coeficiente de absorção de água aos 60 min do ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten após envelhecimento

Provetes	Tubo	Absorção (ml)						Área (m ²)	C60 (kg/m ² .h ^{0,5})	
		3 min	30 min	1h	4 h	8 h	24 h			
H0.4	1	0,02	0,05	0,05	0,11	0,15	0,23	0,00057	0,088	
	2	0,01	0,03	0,03	0,10	0,13	0,20		0,053	
H0.5	1	0,03	0,07	0,07	0,15	0,18	0,25		0,123	
	2	0,00	0,03	0,05	0,10	0,13	0,22		0,088	
H0.6	1	0,05	0,07	0,07	0,10	0,15	0,35		0,123	
	2	0,01	0,02	0,02	0,07	0,10	0,25		0,035	
H0 médio		0,02	0,05	0,05	0,11	0,14	0,25		0,00057	0,085
desvio padrão		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05		-	0,033
H1.4	1	0,03	0,03	0,05	0,10	0,10	0,28		0,00057	0,088
	2	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,20			0,000
H1.5	1	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,17	0,000		
	2	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05	0,17	0,018		
H1.6	1	0,00	0,03	0,03	0,03	0,08	0,20	0,053		
	2	0,00	0,05	0,05	0,08	0,10	0,22	0,088		
H1 médio		0,01	0,02	0,02	0,05	0,07	0,21	0,00057		0,041
desvio padrão		0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	-		0,037
H2.4	1	0,00	0,00	0,01	0,05	0,09	0,18	0,00057		0,018
	2	0,05	0,05	0,05	0,10	0,11	0,25			0,088
H2.5	1	0,00	0,02	0,02	0,02	0,05	0,13		0,035	
	2	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,20		0,000	
H2.6	1	0,02	0,02	0,02	0,05	0,10	0,20		0,035	
	2	0,00	0,00	0,00	0,03	0,08	0,20		0,000	
H2 médio		0,01	0,02	0,02	0,05	0,09	0,19		0,00057	0,029
desvio padrão		0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04		-	0,030
H3.4	1	0,00	0,00	0,01	0,08	0,12	0,20		0,00057	0,018
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,13			0,000
H3.5	1	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,18	0,000		
	2	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,20	0,000		
H3.6	1	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,20	0,000		
	2	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,20	0,000		
H3 médio	-	0,00	0,00	0,00	0,03	0,08	0,19	0,00057		0,003
desvio padrão	-	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	-		0,007

Tabela A.12 – Valores individuais e médios da água absorvida ao longo do ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de Karsten após envelhecimento

Provetes	Tubo	Área (m ²)	Absorção (kg/m ²)					
			3min	30 min	1h	4h	8h	24h
H0.1	1	0,00057	0,035	0,088	0,088	0,193	0,263	0,404
	2		0,018	0,053	0,053	0,175	0,228	0,351
H0.2	1	0,00057	0,088	0,123	0,123	0,263	0,316	0,439
	2		0,053	0,053	0,088	0,175	0,228	0,386
H0.3	1	0,00057	0,088	0,123	0,123	0,175	0,263	0,614
	2		0,053	0,035	0,035	0,123	0,175	0,439
H0 médio		0,00057	0,056	0,079	0,085	0,184	0,246	0,439
Desvio padrão		-	0,026	0,035	0,033	0,041	0,043	0,084
H1.1	1	0,00057	0,053	0,053	0,088	0,175	0,175	0,491
	2		0,000	0,000	0,000	0,088	0,088	0,351
H1.2	1	0,00057	0,000	0,000	0,000	0,053	0,088	0,298
	2		0,000	0,018	0,018	0,053	0,088	0,298
H1.3	1	0,00057	0,000	0,053	0,053	0,053	0,140	0,351
	2		0,000	0,088	0,088	0,140	0,175	0,386
H1 médio		0,00057	0,009	0,035	0,041	0,094	0,126	0,363
Desvio padrão		-	0,020	0,032	0,037	0,048	0,040	0,065
H2.1	1	0,00057	0,000	0,000	0,018	0,088	0,158	0,316
	2		0,088	0,088	0,088	0,175	0,193	0,439
H2.2	1	0,00057	0,000	0,035	0,035	0,035	0,088	0,228
	2		0,000	0,000	0,000	0,053	0,158	0,351
H2.3	1	0,00057	0,035	0,035	0,035	0,088	0,175	0,351
	2		0,000	0,000	0,000	0,053	0,140	0,351
H2 médio		0,00057	0,020	0,026	0,029	0,082	0,152	0,339
Desvio padrão		-	0,033	0,032	0,030	0,046	0,033	0,062
H3.1	1	0,00057	0,000	0,000	0,018	0,140	0,211	0,351
	2		0,000	0,000	0,000	0,000	0,088	0,228
H3.2	1	0,00057	0,000	0,000	0,000	0,035	0,088	0,316
	2		0,000	0,000	0,000	0,088	0,175	0,351
H3.3	1	0,00057	0,000	0,000	0,000	0,035	0,140	0,351
	2		0,000	0,000	0,000	0,035	0,140	0,351
H3 médio		0,00057	0,000	0,000	0,003	0,056	0,140	0,325
Desvio padrão		-	0,000	0,000	0,007	0,046	0,044	0,045

Anexo V – Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água

I) Antes do envelhecimento

Tabela A.13 – Massa dos provetes individuais e valores médio ao longo do ensaio de permeabilidade ao vapor de água antes do envelhecimento

	horas	Tempo													
		0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312
	segundos	0	86400	172800	259200	345600	432000	518400	604800	691200	777600	864000	950400	1036800	1123200
Provetes	Área (m ²)	Massa (kg)													
H0.1	0,0042	0,2194	0,2194	0,2195	0,2195	0,2196	0,2196	0,2197	0,2197	0,2198	0,2198	0,2199	0,2199	0,2200	0,2200
H0.2	0,0041	0,2055	0,2055	0,2056	0,2057	0,2057	0,2058	0,2058	0,2059	0,2059	0,2060	0,2060	0,2061	0,2061	0,2062
H0.3	0,0041	0,1846	0,1846	0,1846	0,1847	0,1847	0,1847	0,1847	0,1848	0,1848	0,1848	0,1848	0,1849	0,1849	0,1849
H0	0,0041	0,2032	0,2032	0,2032	0,2033	0,2033	0,2034	0,2034	0,2034	0,2035	0,2035	0,2036	0,2036	0,2037	0,2037
H1.1	0,0042	0,1874	0,1874	0,1875	0,1875	0,1876	0,1876	0,1877	0,1877	0,1878	0,1878	0,1879	0,1879	0,1880	0,1880
H1.2	0,0041	0,1939	0,1939	0,1940	0,1940	0,1941	0,1941	0,1942	0,1942	0,1943	0,1943	0,1944	0,1944	0,1945	0,1945
H1.3	0,0041	0,1963	0,1963	0,1964	0,1965	0,1965	0,1966	0,1966	0,1967	0,1967	0,1968	0,1968	0,1969	0,1970	0,1970
H1	0,0041	0,1925	0,1925	0,1926	0,1927	0,1927	0,1928	0,1928	0,1929	0,1929	0,1930	0,1930	0,1931	0,1931	0,1932
H2.1	0,0042	0,1921	0,1922	0,1923	0,1923	0,1924	0,1925	0,1925	0,1926	0,1926	0,1927	0,1928	0,1928	0,1929	0,1929
H2.2	0,0041	0,1891	0,1891	0,1892	0,1892	0,1893	0,1893	0,1894	0,1894	0,1895	0,1895	0,1896	0,1896	0,1897	0,1897
H2.3	0,0042	0,1961	0,1961	0,1962	0,1962	0,1962	0,1963	0,1964	0,1964	0,1965	0,1965	0,1966	0,1966	0,1967	0,1967
H2	0,0042	0,1924	0,1925	0,1925	0,1926	0,1926	0,1927	0,1927	0,1928	0,1929	0,1929	0,1930	0,1930	0,1931	0,1931
H3.1	0,0042	0,2070	0,2070	0,2070	0,2071	0,2071	0,2072	0,2072	0,2072	0,2073	0,2073	0,2074	0,2074	0,2074	0,2075
H3.2	0,0042	0,2095	0,2096	0,2096	0,2097	0,2097	0,2098	0,2098	0,2099	0,2099	0,2099	0,2100	0,2100	0,2101	0,2101
H3.3	0,0042	0,2036	0,2036	0,2037	0,2037	0,2038	0,2038	0,2039	0,2039	0,2040	0,2040	0,2041	0,2041	0,2041	0,2042
H3	0,0042	0,2067	0,2067	0,2068	0,2068	0,2069	0,2069	0,2070	0,2070	0,2070	0,2071	0,2071	0,2072	0,2072	0,2073

Tabela A.14 – Valores do ensaio de permeabilidade ao vapor de água individuais antes do envelhecimento

Provetes	Declive (kg/s)	Área (m ²)	ΔP	Permeância (kg/m ² .s.Pa)	Espessura ETICS (m)	Wvp (kg/m.s.Pa)	μ ETICS	Sd ETICS (m)
H0.1	6,00E-10	0,0042	1395	1,03E-10	0,043	4,42E-12	43,94	1,88
H0.2	6,00E-10	0,0041		1,04E-10	0,043	4,44E-12	43,74	1,87
H0.3	3,00E-10	0,0041		5,30E-11	0,043	2,29E-12	84,81	3,66
H1.1	6,00E-10	0,0042		1,03E-10	0,043	4,45E-12	43,56	1,88
H1.2	6,00E-10	0,0041		1,04E-10	0,043	4,43E-12	43,82	1,86
H1.3	6,00E-10	0,0041		1,04E-10	0,043	4,45E-12	43,57	1,86
H2.1	7,00E-10	0,0042		1,20E-10	0,043	5,10E-12	38,01	1,62
H2.2	6,00E-10	0,0041		1,04E-10	0,043	4,46E-12	43,48	1,87
H2.3	6,00E-10	0,0042		1,02E-10	0,043	4,33E-12	44,82	1,91
H3.1	5,00E-10	0,0042		8,56E-11	0,043	3,68E-12	52,76	2,27
H3.2	5,00E-10	0,0042		8,58E-11	0,043	3,67E-12	52,84	2,26
H3.3	6,00E-10	0,0042		1,02E-10	0,043	4,36E-12	44,53	1,89

Tabela A.15 – Valores da camada de ar de difusão equivalente para o EPS (isolante) e camada de acabamento do ensaio de permeabilidade ao vapor de água individuais antes do envelhecimento

Provetes	Espessura EPS (m)	μ EPS	S _d EPS (m)	S _d acabamento (m)
H0.1	0,039	39,07	1,51	0,37
H0.2	0,039		1,54	0,32
H0.3	0,039		1,52	2,14
H1.1	0,039		1,53	0,35
H1.2	0,039		1,53	0,33
H1.3	0,039		1,52	0,34
H2.1	0,039		1,52	0,10
H2.2	0,040		1,55	0,32
H2.3	0,040		1,55	0,36
H3.1	0,039		1,51	0,75
H3.2	0,039		1,52	0,74
H3.3	0,039		1,54	0,36

II) Após envelhecimento

Tabela A.16 – Massa dos provetes individuais e valores médio ao longo do ensaio de permeabilidade ao vapor de água após envelhecimento

		Tempo															
		0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	
		horas	0	86400	172800	259200	345600	432000	518400	604800	691200	777600	864000	950400	1036800	1123200	1209600
Provetes	Área (m ²)	Massa (kg)															
H0.4	0,0042	0,2027	0,2028	0,2028	0,2028	0,2029	0,2029	0,2029	0,2030	0,2030	0,2030	0,2030	0,2031	0,2031	0,2031	0,2032	
H0.5	0,0040	0,1994	0,1994	0,1995	0,1995	0,1995	0,1996	0,1996	0,1996	0,1997	0,1997	0,1997	0,1997	0,1998	0,1998	0,1998	
H0.6	0,0042	0,1956	0,1956	0,1956	0,1957	0,1957	0,1958	0,1958	0,1958	0,1958	0,1959	0,1959	0,1959	0,1959	0,1960	0,1960	
H0 médio	0,0041	0,1992	0,1993	0,1993	0,1993	0,1994	0,1994	0,1994	0,1995	0,1995	0,1995	0,1995	0,1996	0,1996	0,1996	0,1997	
H1.4	0,0042	0,1892	0,1893	0,1893	0,1893	0,1894	0,1894	0,1895	0,1895	0,1895	0,1896	0,1896	0,1896	0,1897	0,1897	0,1898	
H1.5	0,0041	0,1894	0,1894	0,1894	0,1895	0,1895	0,1896	0,1896	0,1896	0,1897	0,1897	0,1897	0,1897	0,1898	0,1898	0,1898	
H1.6	0,0041	0,1826	0,1827	0,1827	0,1827	0,1828	0,1828	0,1828	0,1829	0,1829	0,1829	0,1830	0,1830	0,1830	0,1831	0,1831	
H1 médio	0,0041	0,1871	0,1871	0,1871	0,1872	0,1872	0,1873	0,1873	0,1873	0,1874	0,1874	0,1874	0,1875	0,1875	0,1875	0,1876	
H2.4	0,0041	0,1859	0,1859	0,1860	0,1860	0,1860	0,1860	0,1861	0,1861	0,1862	0,1862	0,1862	0,1863	0,1863	0,1863	0,1864	
H2.5	0,0041	0,1976	0,1977	0,1977	0,1977	0,1978	0,1978	0,1979	0,1979	0,1979	0,1980	0,1980	0,1980	0,1981	0,1981	0,1981	
H2.6	0,0042	0,1910	0,1910	0,1911	0,1911	0,1911	0,1912	0,1912	0,1912	0,1912	0,1913	0,1913	0,1913	0,1914	0,1914	0,1914	
H2 médio	0,0042	0,1915	0,1916	0,1916	0,1916	0,1916	0,1917	0,1917	0,1917	0,1918	0,1918	0,1918	0,1919	0,1919	0,1919	0,1920	
H3.4	0,0042	0,1789	0,1789	0,1790	0,1790	0,1790	0,1790	0,1790	0,1790	0,1791	0,1791	0,1791	0,1791	0,1791	0,1792	0,1792	
H3.5	0,0042	0,1934	0,1934	0,1934	0,1935	0,1935	0,1935	0,1936	0,1936	0,1936	0,1937	0,1937	0,1937	0,1937	0,1938	0,1938	
H3.6	0,0042	0,1812	0,1812	0,1812	0,1813	0,1813	0,1813	0,1814	0,1814	0,1814	0,1814	0,1815	0,1815	0,1815	0,1815	0,1816	
H3 médio	0,0042	0,1845	0,1845	0,1845	0,1846	0,1846	0,1846	0,1846	0,1847	0,1847	0,1847	0,1847	0,1848	0,1848	0,1848	0,1848	

Tabela A.17 – Valores do ensaio de permeabilidade ao vapor de água individuais após envelhecimento

Provetes	Declive (kg/s)	Área (m ²)	ΔP	Permeância (kg/m ² .s.Pa)	Espessura ETICS (m)	Wvp (kg/m.s.Pa)	μ ETICS	Sd ETICS (m)
H0.4	3,00E-10	0,0042	1395	5,09E-11	0,043	2,17E-12	89,26	3,81
H0.5	3,00E-10	0,0040		5,32E-11	0,042	2,26E-12	85,88	3,65
H0.6	4,00E-10	0,0042		6,87E-11	0,043	2,94E-12	66,02	2,83
H1.4	4,00E-10	0,0042		6,90E-11	0,042	2,93E-12	66,17	2,81
H1.5	4,00E-10	0,0041		7,01E-11	0,043	3,00E-12	64,63	2,77
H1.6	4,00E-10	0,0041		6,99E-11	0,043	3,00E-12	64,62	2,78
H2.4	4,00E-10	0,0041		6,94E-11	0,043	2,95E-12	65,66	2,79
H2.5	4,00E-10	0,0041		6,91E-11	0,043	2,95E-12	65,68	2,81
H2.6	3,00E-10	0,0042		5,14E-11	0,043	2,21E-12	87,91	3,77
H3.4	2,00E-10	0,0042		3,41E-11	0,043	1,46E-12	132,55	5,68
H3.5	3,00E-10	0,0042		5,17E-11	0,043	2,20E-12	88,04	3,75
H3.6	3,00E-10	0,0042		5,17E-11	0,042	2,19E-12	88,46	3,75

Tabela A.18– Valores da camada de ar de difusão equivalente para o EPS (isolante) e camada de acabamento do ensaio de permeabilidade ao vapor de água individuais após envelhecimento

Provetes	Espessura EPS (m)	μ EPS	Sd EPS (m)	Sd acabamento (m)
H0.4	0,038	39,07	1,49	2,32
H0.5	0,039		1,51	2,14
H0.6	0,038		1,50	1,32
H1.4	0,039		1,52	1,29
H1.5	0,039		1,53	1,24
H1.6	0,039		1,53	1,25
H2.4	0,039		1,51	1,28
H2.5	0,039		1,51	1,29
H2.6	0,039		1,51	2,26
H3.4	0,039		1,52	4,16
H3.5	0,040		1,57	2,19
H3.6	0,039		1,53	2,23

Anexo VI - Microfotografias Antes e Após envelhecimento artificial acelerado

Tabela A.19- Microfotografias da superfície H0 antes e após envelhecimento acelerado

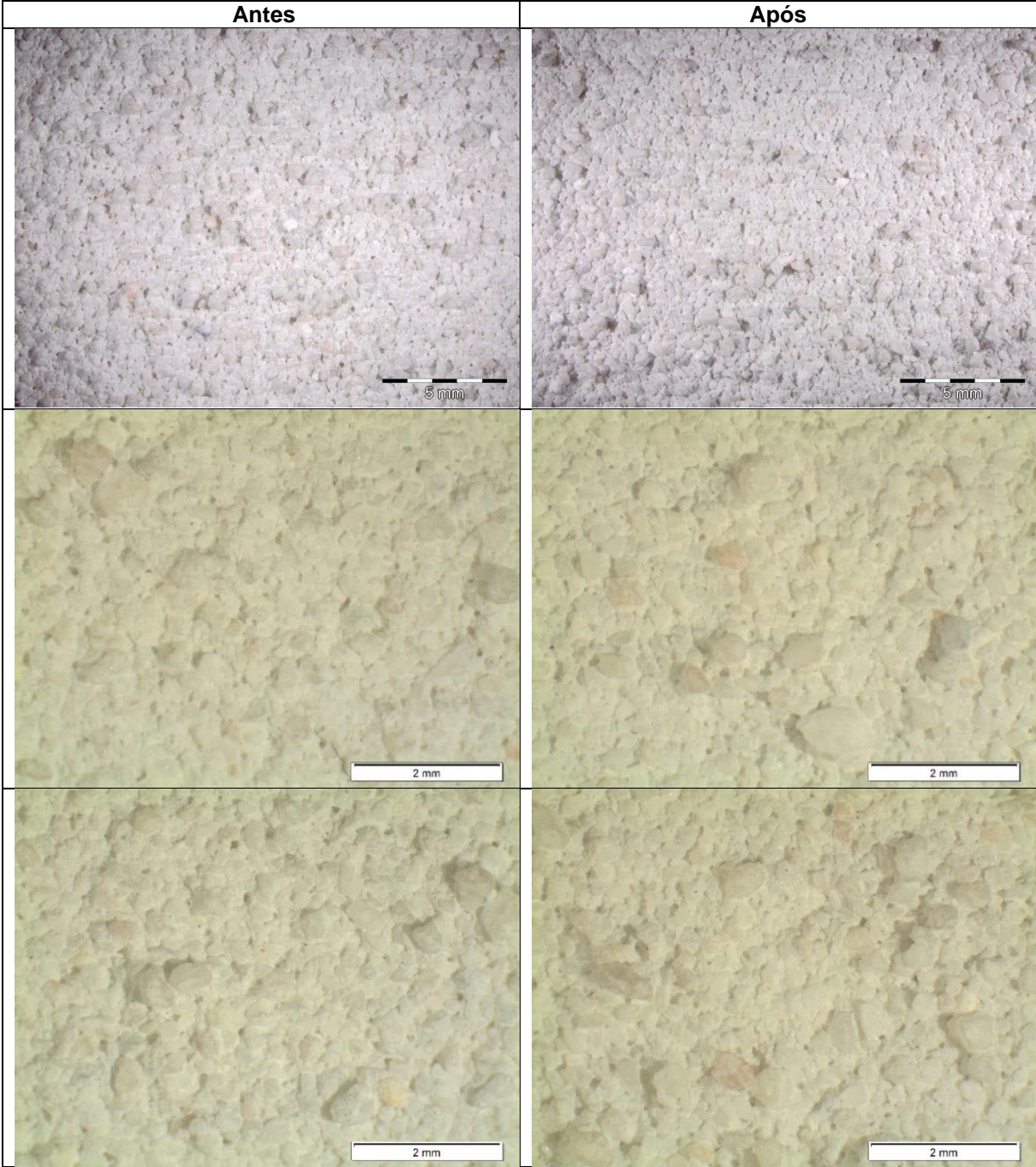


Tabela A.20- Microfotografias da superfície **H1** antes e após envelhecimento acelerado

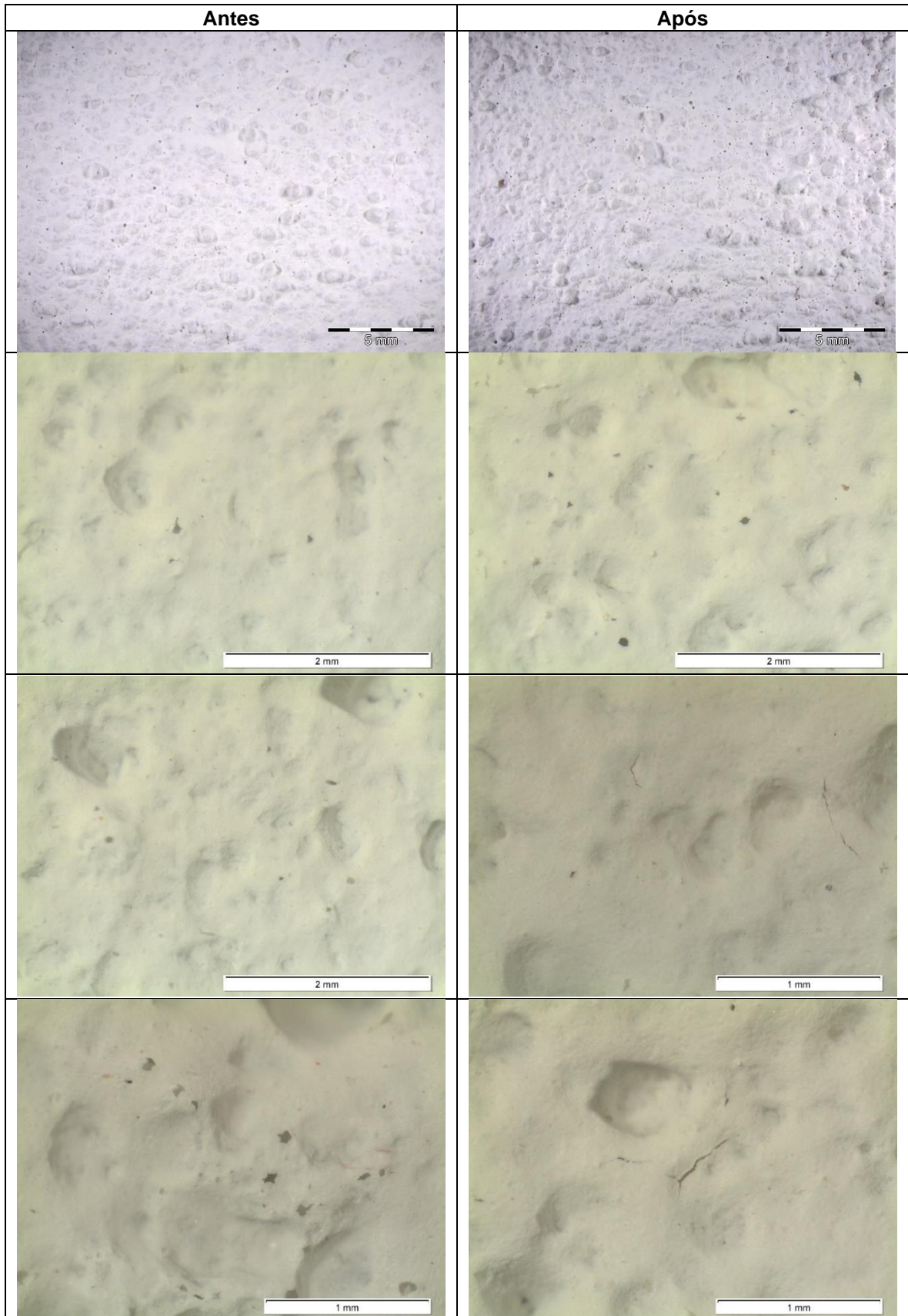


Tabela A.21– Microfotografias da superfície H2 antes e após envelhecimento acelerado

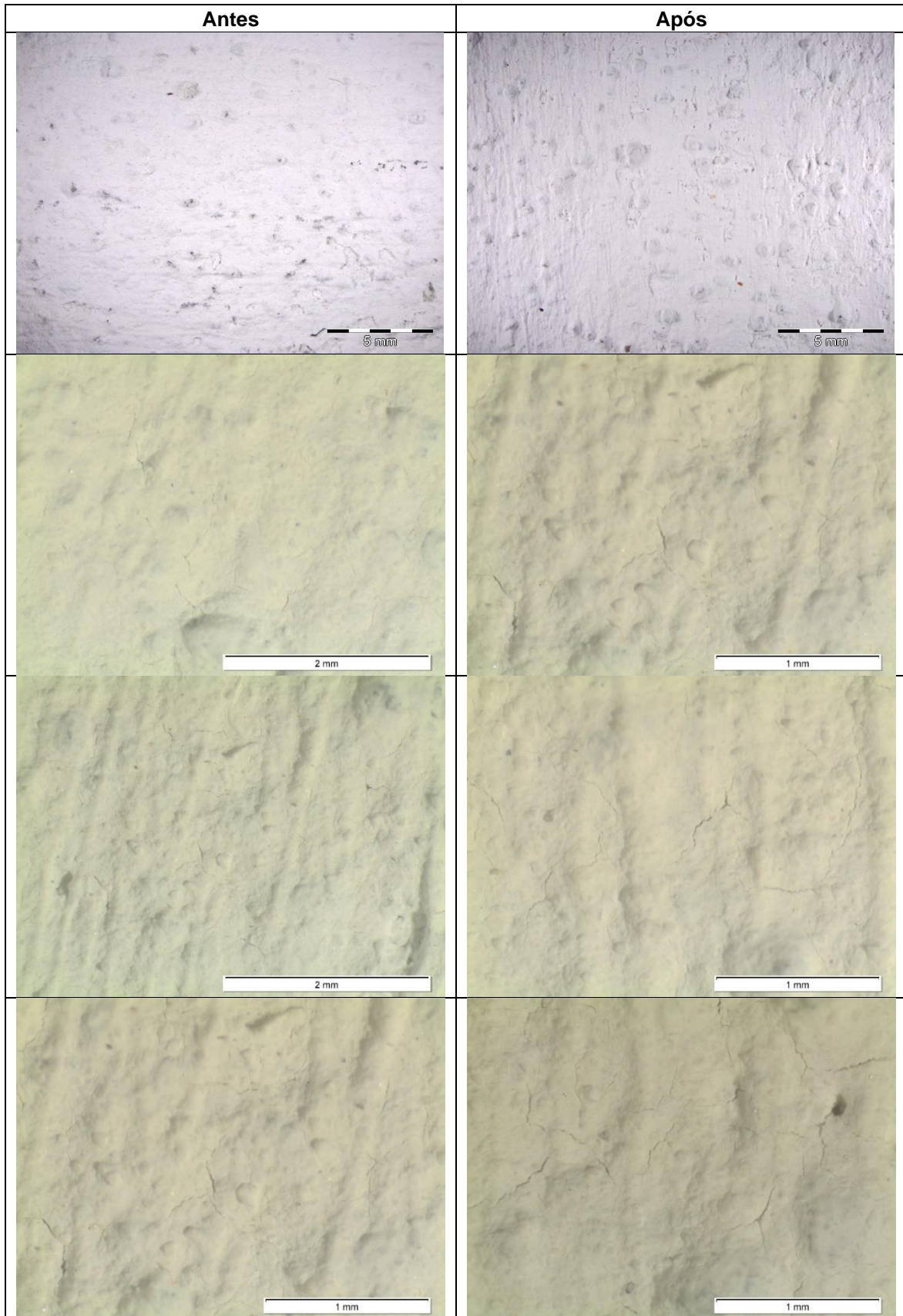
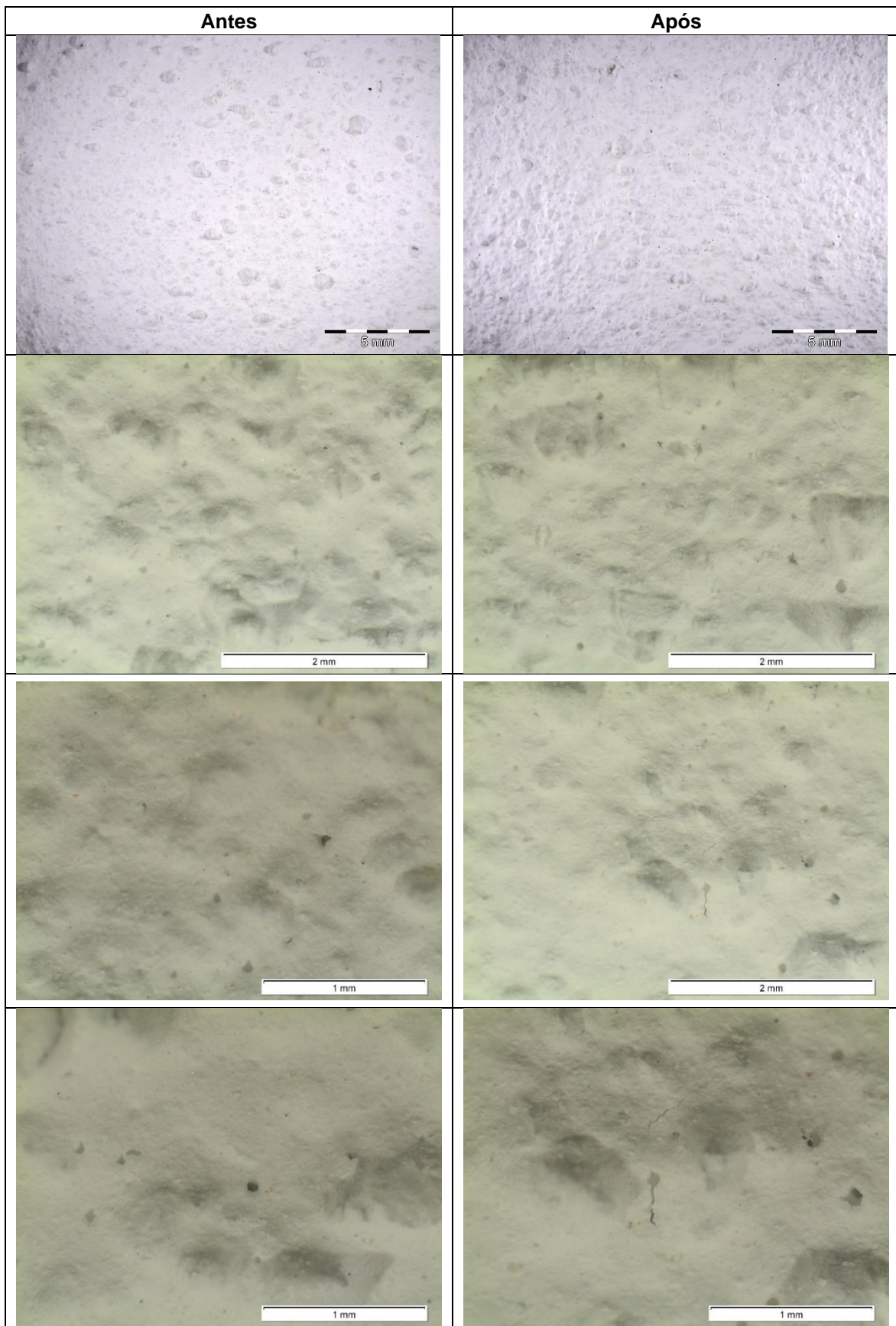


Tabela A.22– Microfotografias da superfície **H3** antes e após envelhecimento acelerado



Anexo VII – Microfotografias do ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

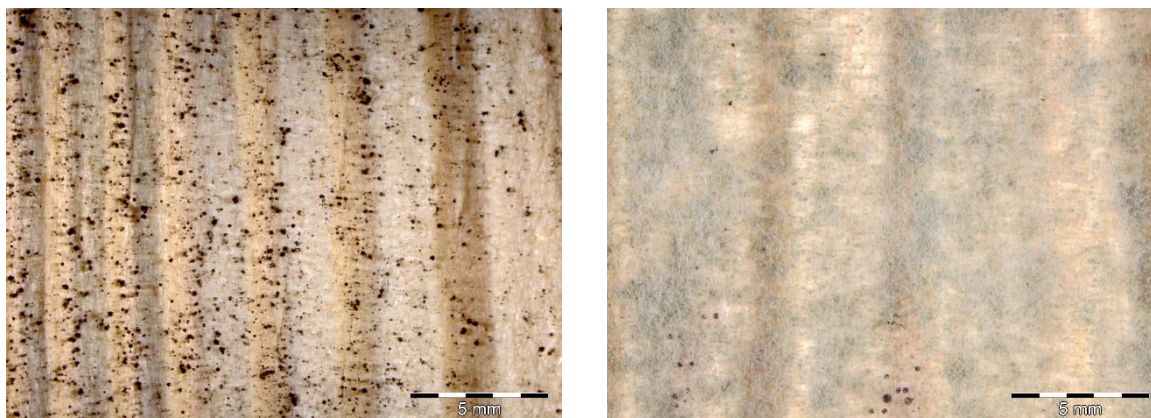
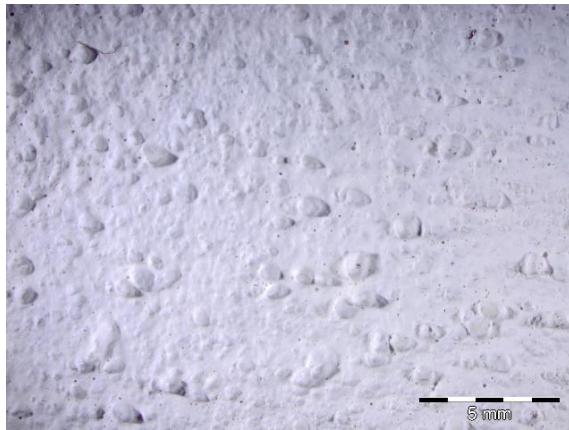


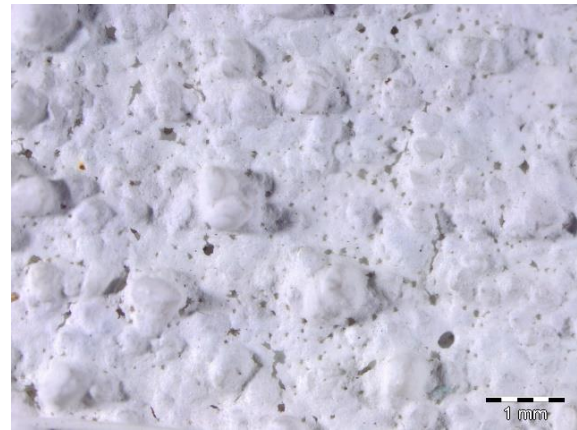
Figura A.4 – Microfotografias do ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores – **Controlo**



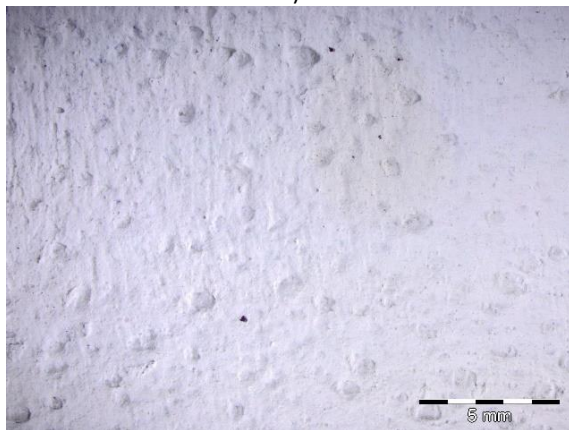
Figura A.5 - Microfotografias do ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores – **H0**



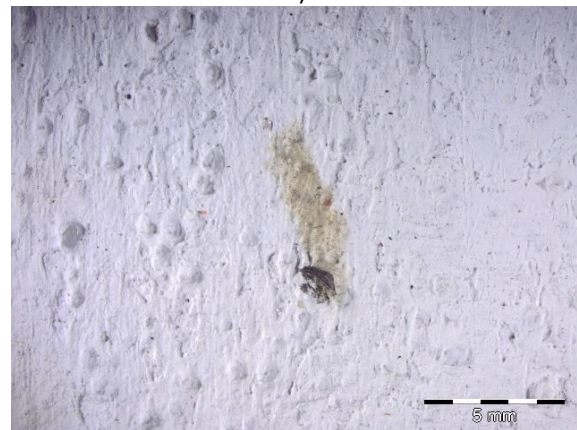
a)



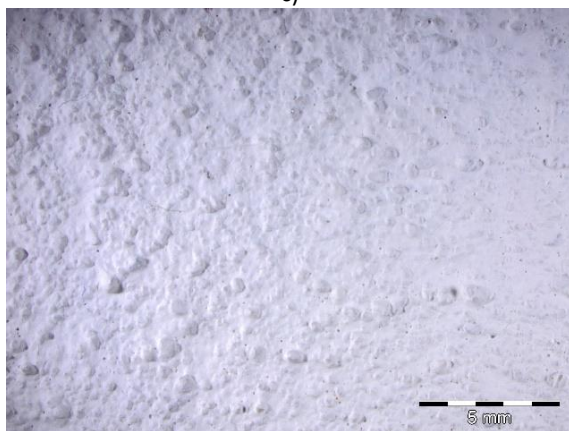
b)



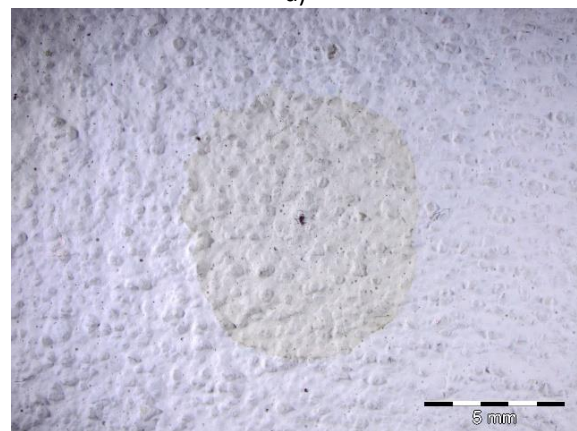
c)



d)



e)



f)

Figura A.6 - Microfotografias do ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores; a) e b) **H1**; c) e d) **H2**; e) e f) **H3**; d) e f) com mancha provocada pelo inóculo.