

Avaliação da resistência à biocolonização e do desempenho à água de argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior

João Luís Parracha Laboratório Nacional de Engenharia Civil – CERIS – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Rosário Veiga LNEC

Inês Flores-Colen CERIS – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Lina Nunes LNEC e cE3c – Universidade dos Açores

A aplicação de argamassas de desempenho térmico melhorado em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior tem sido cada vez mais frequente, quer em construção nova, quer na reabilitação térmica de fachadas de edifícios. Com o presente estudo, pretende-se avaliar a resistência à biocolonização e o desempenho à água de três argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada. Os resultados demonstram a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema para um aumento da eficiência e durabilidade do conjunto.

O

setor da construção tem vindo a adaptar-se e a atualizar-se através da procura de novos sistemas, soluções e processos construtivos mais sustentáveis e que respondam às crescentes exigências de conforto higrotérmico dos edifícios. A aplicação de argamassas de desempenho térmico melhorado em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior tem sido cada vez mais frequente, quer em construção nova, quer na reabilitação térmica de fachadas de edifícios.

A incorporação de agregados leves na composição da argamassa, tal como de aditivos introdutores de ar, contribui fortemente para a melhoria do seu desempenho térmico. No entanto, a introdução deste tipo de agregados potencia também uma redução considerável da densidade da argamassa, condicionando o seu bom desempenho mecânico. Adicionalmente, pode verificar-se uma alteração considerável da sua estrutura porosa, afetando o desempenho à água da argamassa térmica.

Quando aplicada em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior, a argamassa pode contribuir para colmatar ou agravar algumas das desvantagens identificadas nestes sistemas ao longo do tempo. Essas desvantagens incidem principalmente no desenvolvimento de condensações superficiais, na aderência entre os diferentes componentes do sistema, na sua resistência ao choque, na alteração da cor e na suscetibilidade à colonização biológica. Assim, a avaliação da biocolonização e do desempenho à água de diferentes argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada é de extrema importância, especialmente por não existir ainda qualquer documento que permita avaliar o desempenho destes sistemas.

No presente estudo, avalia-se a resistência à biocolonização e o desempenho à água de três argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico

pelo exterior, avaliando-se não só o desempenho do sistema como um todo, mas também da argamassa térmica individualmente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, analisaram-se três argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior (figura 1). Os provetes das diferentes soluções foram realizados pelos respectivos fabricantes. A constituição de cada uma das camadas dos diferentes sistemas encontra-se especificada na tabela 1. Os sistemas S1 e S2, bem como as respectivas argamassas térmicas, encontram-se disponíveis no mercado e, por isso, possuem ficha técnica de produto. O sistema S3 encontra-se em fase de desenvolvimento.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado em ambiente condicionado ($T = 23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $HR = 65 \pm 5 \%$), de acordo

com o especificado no EAD [1] e na norma EN 998-1 [2]. Para testar o sistema completo e as argamassas individualmente, utilizaram-se provetes com uma área aproximada, respetivamente, de $150 \text{ mm}^2 \times 150 \text{ mm}^2$ e de $40 \text{ mm}^2 \times 40 \text{ mm}^2$. O ensaio de secagem foi realizado de acordo com o especificado na norma EN 16322 [3], em ambiente condicionado ($T = 23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $HR = 65 \pm 5 \%$), até se obter uma variação de massa constante para todos os provetes ensaiados. O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado em ambiente condicionado ($T = 23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $HR = 50 \pm 5 \%$), de acordo com o EAD [1] e a norma EN 1015-19 [4], utilizando-se o método da cápsula seca.

1 | Sistemas multicamada ensaiados no estudo (a-c) e respetivas argamassas térmicas (d-f).

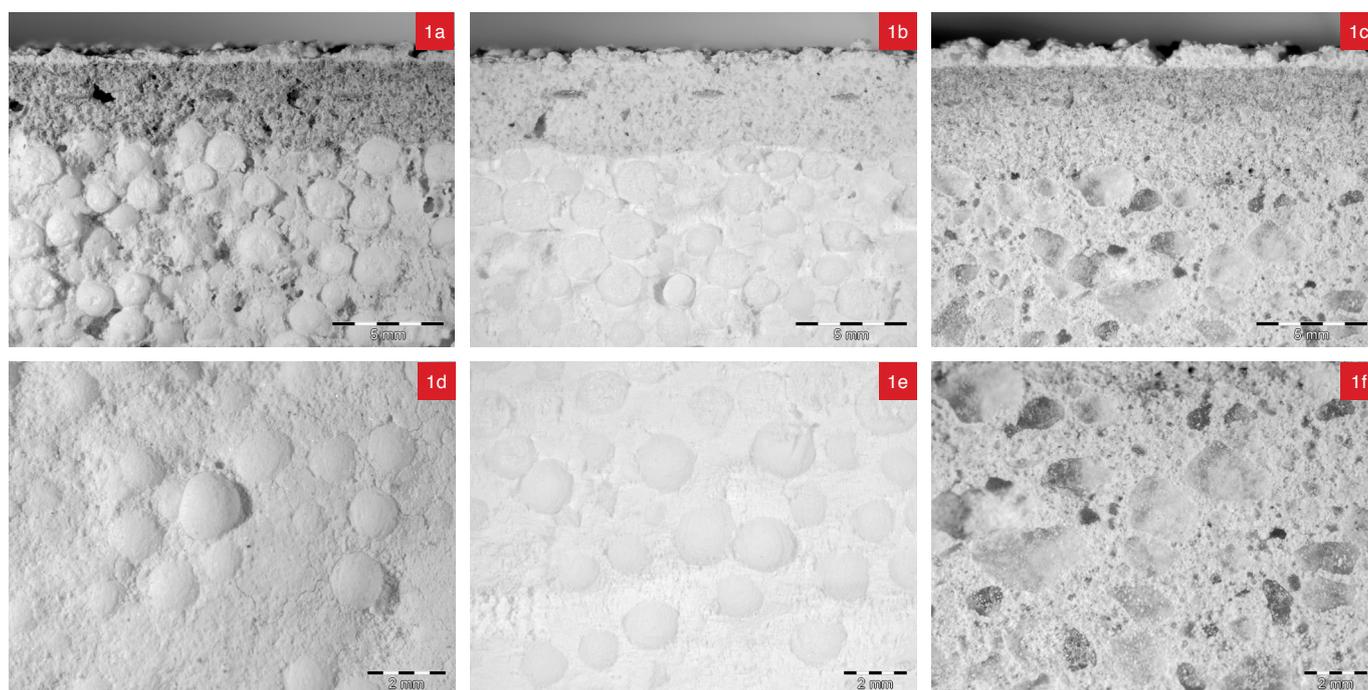


Tabela 1 | Identificação e constituição dos sistemas multicamada

| Sistema (S) | Espessura do sistema [mm] | Argamassa térmica (Matriz/Agregado) | Espessura da argamassa [mm] | Camada de base* | Camada de acabamento |
|-------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| S1 | 68,73 | Cal/EPS | 60,28 | Cimento | Tinta acrílica 1 |
| S2 | 43,75 | Mista/EPS | 37,23 | Cimento, cal hidráulica natural | Tinta acrílica 2 |
| S3 | 55,33 | Mista/Aerogel | 40,50 | Cimento | Tinta acrílica 1 |

*Reforço com inclusão de rede de fibra de vidro normal

A suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores foi avaliada de acordo com uma metodologia adaptada das normas americanas ASTM D5590-17 [5] e ASTM C1338-19 [6] e validada previamente pelos autores para ETICS [7]. A metodologia de ensaio adotada encontra-se explicada detalhadamente em Parracha *et al.* [7]. Consideraram-se duas condições de exposição: inoculação natural (provetes expostos sem esterilização prévia) e inoculação artificial (após esterilização por vapor de água) com uma suspensão mista de esporos de *Aspergillus niger* e *Penicillium funiculosum*.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Absorção de água por capilaridade e secagem

Através da análise das curvas de absorção de água por capilaridade (figura 2), verifica-se uma maior absorção capilar no caso das argamassas testadas individualmente, como era expectável. De facto, as camadas de revestimento têm um papel fundamental na proteção da argamassa térmica e na redução da absorção de água por capilaridade do sistema completo.

No caso dos sistemas multicamada, os maiores valores de absorção de água por capilaridade no fim do ensaio verificam-se para S1, seguido do sistema S3 e de S2 (figura 2). Tratando-se de sistemas multicamada, os primeiros registos do ensaio (valores de Cc ou até da absorção capilar após uma hora) traduzem essencialmente o comportamento das camadas de revestimento (camada de base + camada de acabamento), que neste caso é melhor para S3 (menor valor de Cc e de absorção capilar após uma hora) (tabela 2).

A argamassa térmica à base de cal com EPS (AT1) obteve não só o maior valor do coeficiente de capilaridade, mas também os maiores registos de absorção capilar ao longo de todo o ensaio. Por outro lado, os menores valores foram obtidos para a argamassa com aerogel, o que pode ser explicado pelas suas propriedades hidrofóbicas.

Na figura 3 apresentam-se as curvas de secagem para os sistemas e argamassas térmicas. Através da análise dos resultados (tabela 2), conclui-se que os valores das taxas de secagem são superiores no caso das argamassas térmicas testadas individualmente, o que está de acordo com os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade. Ou seja, argamassas ou sistemas que apresentam maior absorção de água também acabam por secar mais rapidamente, o que é benéfico nas condições em que essa secagem é possível.

2 | Curvas de absorção de água por capilaridade.

Permeabilidade ao vapor de água

Os resultados obtidos (tabela 3) indicam que os sistemas multicamada são entre 120 % e 800 % menos permeáveis ao vapor de água do que as argamassas térmicas. De facto, as camadas de revestimento contribuem fortemente para a redução da permeabilidade ao vapor do sistema completo. No entanto, todos os sistemas apresentam valores de espessura da camada de ar de difusão equivalente (Sd) inferiores a 1 m, sendo este valor definido pelo EAD [1] como o valor-limite para as camadas de revestimento de sistemas ETICS com isolante térmico mais permeável ao vapor (por exemplo, lã mineral).

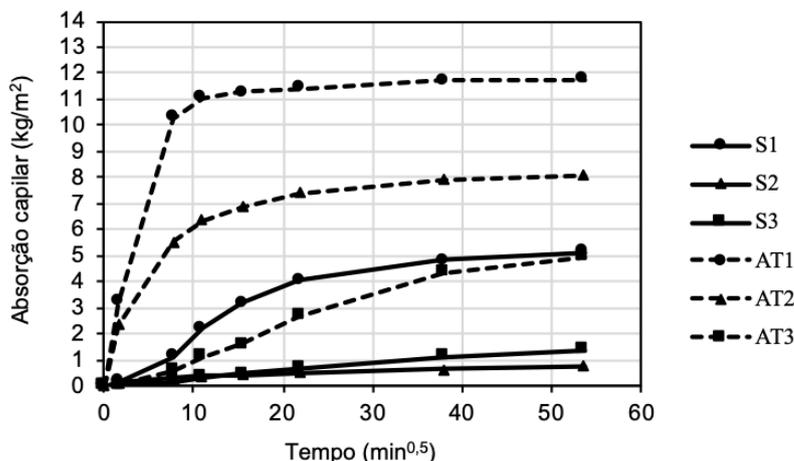
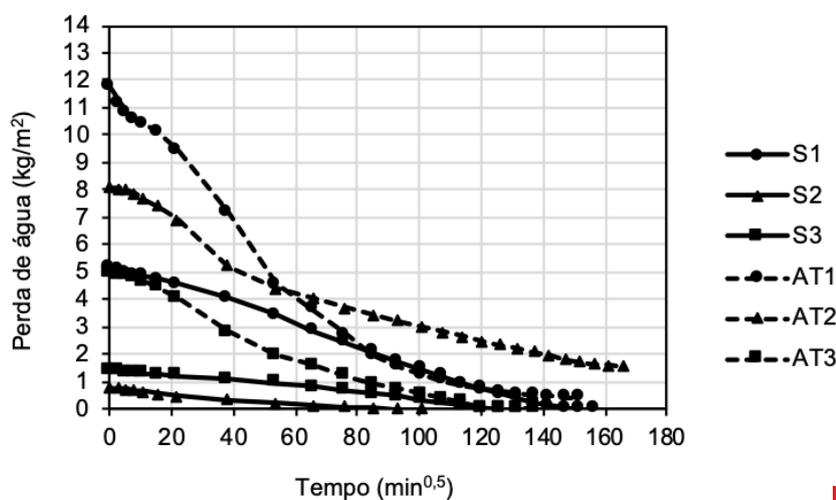


Tabela 2 | Resultados da absorção de água por capilaridade e secagem

| | S1 | S2 | S3 | AT1 | AT2 | AT3 |
|---|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Absorção capilar após 1 h [kg/m ²] | 1,135 ± 0,580 | 0,329 ± 0,099 | 0,199 ± 0,053 | 10,278 ± 1,294 | 5,513 ± 0,143 | 0,623 ± 0,456 |
| Absorção capilar após 24 h [kg/m ²] | 4,825 ± 1,442 | 0,671 ± 0,184 | 1,154 ± 0,410 | 11,713 ± 0,655 | 7,911 ± 0,687 | 4,360 ± 2,776 |
| Cc [kg/(m ² .min ^{0,5})] | 0,091 ± 0,024 | 0,067 ± 0,017 | 0,032 ± 0,05 | 0,472 ± 0,025 | 0,294 ± 0,058 | 0,152 ± 0,110 |
| TS1 [kg/(m ² .min)] | 0,000748 | 0,000304 | 0,000209 | 0,002489 | 0,001980 | 0,001482 |
| TS2 [kg/(m ² .min ^{0,5})] | 0,0387 | 0,0077 | 0,0120 | 0,11780 | 0,0306 | 0,0427 |

Notas: Cc – coeficiente de absorção de água por capilaridade; TS1 – taxa de secagem 1; TS2 – taxa de secagem 2.



3 | Curvas de secagem para os sistemas completos e argamassas térmicas.

3

Tabela 3 | Resultados da permeabilidade ao vapor de água

| | S1 | S2 | S3 | AT1 | AT2 | AT3 | S1-AT1 | S2-AT2 | S3-AT3 |
|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|--------|--------|--------|
| μ [-] | 54 | 26 | 11 | 6 | 8 | 5 | - | - | - |
| Sd [m] | - | - | - | - | - | - | 0,37 | 0,28 | 0,19 |

Notas: μ - coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; Sd - espessura da camada de ar de difusão equivalente.

Em relação às argamassas térmicas avaliadas individualmente, a argamassa AT2 (matriz mista com EPS) obteve o maior valor do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água ($\mu = 8$), seguida da argamassa AT1 (cal e EPS), com um $\mu = 6$, e, por fim, da argamassa de aerogel AT3 ($\mu = 5$). Os resultados obtidos estão de acordo com estudos anteriores em que se avaliaram argamassas com incorporação de EPS ($\mu < 9$) ou de aerogel ($\mu = 4$).

Suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

Na tabela 4 apresentam-se os resultados da classificação visual do grau de desenvolvimento de bolores na superfície das argamassas para cada uma das quatro semanas de ensaio. Em relação aos sistemas completos, o grau de desenvolvimento de bolores na superfície dos provetes foi sempre 0. A atribuição da classificação 4 aos provetes de controlo logo desde a segunda semana de ensaio e o desenvolvimento de bolores no meio de cultura e nas argamassas térmicas são indicadores de validação do ensaio.

Considerando a inoculação artificial com *A. niger* e *P. funiculosum*, os resultados indicam traços de crescimento de bolores (< 10 % de crescimento na superfície dos provetes) nas argamassas AT1 e AT3 a partir da terceira semana de ensaio, com aparente maior predominância do *A. niger* (figura 4B). Não se detetou qualquer crescimento aparente de bolores na superfície dos três provetes de argamassa AT2 inoculados artificialmente.

Em relação aos provetes com inóculo natural, detetaram-se traços de crescimento de bolores na superfície das argamassas AT1 (figura 4A) e AT2 a partir da segunda e da terceira semana de ensaio, respetivamente. No entanto, o grau de desenvolvimento de bolores foi semelhante para as duas argamassas após quatro semanas de ensaio. Não se verificou crescimento aparente de bolores nos provetes de argamassa de aerogel (AT3).

No geral, considerando a inoculação natural e artificial, os resultados do desenvolvimento de bolores nas argamassas térmicas são inferiores aos obtidos para placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) e semelhantes aos

obtidos para placas de lâ mineral (MW). No entanto, são superiores ao desenvolvimento de bolores em placas de poliestireno expandido (EPS) [7].

EN 998-1 vs. EAD 040083-00-0404

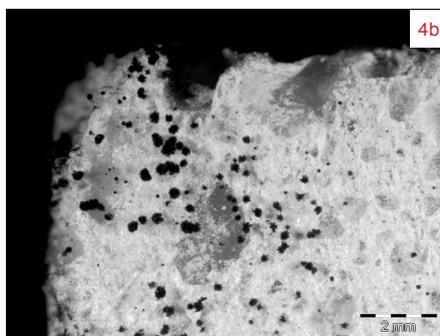
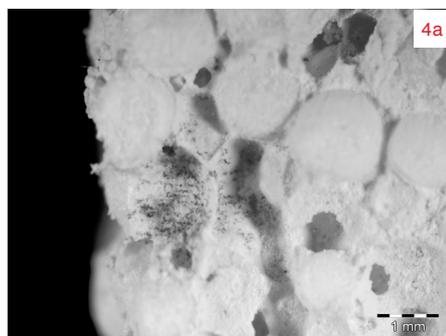
Na tabela 5 apresentam-se os requisitos especificados na norma EN 998-1 [2] e no EAD [1] para a avaliação do desempenho à água dos sistemas completos e das argamassas térmicas. No entanto, importa referir que o EAD apresenta requisitos e métodos de ensaio para a avaliação de sistemas ETICS. Uma vez que ainda não existe qualquer documento que permita avaliar o desempenho de sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior com incorporação de argamassas térmicas, os requisitos especificados no EAD foram utilizados no presente estudo para a avaliação do sistema completo como uma primeira aproximação.

Os resultados indicam que as argamassas térmicas AT2 e AT3 estão de acordo os requisitos da norma EN 998-1 [2] em relação à absorção de água por capilaridade e à

Tabela 5 | Requisitos para a avaliação do sistema completo e das argamassas térmicas de acordo com o EAD [1] e a EN 998-1 [2], respetivamente

| Requisitos | | S1 | S2 | S3 | AT1 | AT2 | AT3 |
|-----------------------------------|--|----|----|----|-----|-----|-----|
| Absorção de água por capilaridade | EN 998-1: $C_c \leq 0,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ | - | - | - | X | √ | √ |
| | EAD: $A_{1h} \leq 1 \text{ kg}/\text{m}^2$ | X | √ | √ | - | - | - |
| Permeabilidade ao vapor de água | EN 998-1: $\mu \leq 15$ | - | - | - | √ | √ | √ |
| | EAD: $S_d \leq 1 \text{ m}$ | √ | √ | √ | - | - | - |

Notas: C_c – coeficiente de capilaridade; A_{1h} – absorção capilar após uma hora; μ – coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; S_d – espessura da camada de ar de difusão equivalente; √ – verifica; X – não verifica.



4 | Imagens ao microscópio estereoscópico de um provete de AT1 (a) e de AT3 (b), ambos com colonização biológica após quatro semanas de ensaio.

permeabilidade ao vapor de água. No que diz respeito à avaliação dos sistemas completos de acordo com os requisitos do EAD [1], verifica-se uma tendência semelhante, ou seja, todos os sistemas cumprem os requisitos, com exceção de S1 no valor da absorção de água por capilaridade após uma hora de ensaio. Os resultados obtidos demonstram, assim, a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema para um aumento da eficiência e da durabilidade do conjunto.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, de acordo com a metodologia de ensaio aplicada no presente estudo, sugerem um desempenho satisfatório à água para todas as soluções, com exceção do sistema S1 (argamassa térmica de cal e EPS, com uma argamassa de cimento na camada de base e acabamento acrílico) e da respetiva argamassa AT1, onde a absorção de água por capilaridade excedeu ligeiramente os limites. Adicionalmente, não se detetou qualquer crescimento aparente de bolores na superfície dos três sistemas. No entanto, os resultados

indicaram traços de crescimento nos provetes de argamassas, comprovando que o bom desempenho das camadas de revestimento é essencial para prevenir fenómenos de colonização biológica na argamassa térmica e, consequentemente, em todo o sistema.

Os resultados demonstram a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema e de uma boa compatibilidade entre eles para um aumento da eficiência e da durabilidade do conjunto. Adicionalmente, um estudo mais abrangente destes sistemas multicamada continua a ser necessário, assim como o desenvolvimento de um documento, com base em normalização e guias técnicos existentes, que permita avaliar o seu desempenho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT pelo financiamento ao projeto WGB_Shield (PTDC/ECI-EGC/30681/2017) e à bolsa de doutoramento DFA/BD/5180/2020. Agradece-se à Secil e à Weber Saint-Gobain o fornecimento dos materiais utilizados na campanha experimental ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] EOTA (2020). Guideline for European technical approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering. EAD 040083-00-0404, EOTA, Brussels, Belgium.
- [2] CEN (2017). Specification for mortar for masonry. Part 1: rendering and plastering mortar, EN 998-1. British Standard Institution, London, UK.
- [3] CEN (2013). Conservation of cultural heritage – Test methods – Determination of drying properties, EN 16322. European Standard, Brussels, Belgium.
- [4] CEN (2008). Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars, EN 1015-19. European Standard, Belgium.
- [5] ASTM (2017). Determining the resistance of paint films and related coatings to fungal defacement by accelerated four-week agar plate assay, ASTM D5590-17. ASTM International, Pennsylvania, USA.
- [6] ASTM (2019). Standard test method for determining fungi resistance of insulation materials and facings, ASTM C1338-19. ASTM International, Pennsylvania, USA.
- [7] Parracha, J. L. *et al* (2021). Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties. *Construction and Building Materials*. 272, 121956.