

Melhoria de desempenho do ETICS, com base em lã mineral, por homogeneização da superfície de interação entre componentes

Increased performance of mineral wool based ETICS by components interaction surface homogenization

D. Cardoso^a, I. Flores-Colen^b, M. F. C. Pereira^c, P. Ferreira^d, P. Sequeira^d, L. Silva^{d†}

^a DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, nº 1, 1049-001 Lisboa

^b CERIS, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, nº 1, 1049-001 Lisboa

^c CERENA, DER, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, nº 1, 1049-001 Lisboa

^d Saint-Gobain Portugal S.A., Zona Industrial Taboeira, 3800-055, Aveiro, Portugal

[†] Autor para correspondência: luis.silva@saint-gobain.com

RESUMO

A solução de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) é reconhecida no mercado como solução de excelência no revestimento de fachadas, por prover conforto térmico, otimização de consumo energético e pelo próprio desempenho mecânico e estético, com vantagens inerentes. Porém, apresenta algumas limitações, uma das quais relacionadas com a reação ao fogo que, em parte, é melhorada pela utilização de materiais isolantes de base mineral, como a lã de vidro. Face a esta conjectura, admite-se um número crescente, mas ainda limitado na totalidade de ETICS, de casos com utilização deste material como isolante. Esta experiência crescente permite, por outro lado, conhecer fatores mais críticos na aplicação e sucesso deste sistema em específico, sendo um deles relacionado com casos de observação de falta de aderência em pontos aleatórios da fachada. Este estudo elabora e apresenta uma metodologia de trabalho que tenciona apresentar a causa para a anomalia e uma proposta de minimização ou eliminação da mesma, e que assenta na hipótese de otimização por homogeneização de absorção da superfície da placa isolante.

ABSTRACT

ETICS is widely recognized as a good solution to building façade due to thermal comfort, energy consumption optimization and as good mechanical and aesthetical performance. On the other hand, also presents few limitations, especially when related to fire reaction, unless the insulation material would be mineral wool. Based on this reality, is expected to see an increase of mineral wool as key material to support this system, which will bring specificities relate to it, namely the lack of adhesion of the mortars among several spots of the façade. This study presents a working methodology to clarify the main cause for such anomaly and a proposal to minimize or even eliminate it, based on the hypothesis of absorption homogenization of whole insulation board.

Palavras-chave:

ETICS; lã mineral; camada de base; otimização de interface; agente molhante.

Keywords:

ETICS; mineral wool; basecoat; interface optimization; wetting agent.

1. Introdução

A utilização de materiais isolantes, em sistemas de revestimento de fachadas e coberturas é uma técnica frequentemente utilizada na melhoria do desempenho energético dos edifícios, proporcionando a diminuição da necessidade de consumo de energia para aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores. Frequentemente, são incorporados num contexto de um Sistema de Isolamento pelo Exterior (ETICS), muito comum na Europa, resultando num sistema também de desempenho elevado ao nível mecânico, com boa resistência à fissuração e estético. Um dos materiais que é frequentemente utilizado para este revestimento é a lã mineral que, para além de ser considerado um bom isolante, é um material que garante o isolamento sonoro, um bom comportamento ao fogo e ainda é um material cujo impacte ambiental é inferior ao de outros materiais, tais como o EPS e o XPS. A lã mineral, sob as formas de lã de rocha ou vidro, é um material classificado segundo a EN 13162, incombustível, que se apresenta numa estrutura de fibras entrecruzadas numa estrutura porosa e flexível. Como parte de um sistema ETICS, existe um conjunto de componentes, além do isolante, como uma argamassa de base mineral ou orgânica, usada para fixação e barramento dos materiais, neste caso, reforçada com rede de fibra de vidro com tratamento alcalino, outros materiais de suporte à fixação, como buchas para ancoragem mecânica e, finalmente, soluções de revestimento final, que podem incorporar um primário. Como solução de revestimento de fachadas, além da função de isolamento térmico, deverão garantir outras funcionalidades próprias deste elemento construtivo, como são a impermeabilização e a estética. Assim, a própria EAD 040083-00-0404 define requisitos mínimos de desempenho como sistema e como componentes isolados, cuja garantia de cumprimento deverá conduzir a períodos de vida útil mínimos de 25 anos [1-3].

Relativamente às argamassas de camada de base, são constituídas por uma mistura de um ligante (mineral, orgânico ou ambos), agregados específicos e aditivos/adjuvantes, como éteres de celulose (como suporte à reologia da argamassa, tempo aberto e de presa), outros reológicos como bentonites, fibras de celulose, estearatos/oleatos como agentes hidrofóbicos e fibras acrílicas para aumentar a sua flexibilidade, resistência à fissuração em fase plástica e fase endurecida durante ações de impacto. O seu desempenho, como material independente, é determinado pela EN 998-1 para o caso de argamassas de ligante mineral, que destaca propriedades como a resistência à compressão, condutibilidade térmica e absorção de água por capilaridade. Em contexto de sistemas de isolamento térmico de fachadas (ETICS), que se submetem à EAD 040083-00-0404, e que implica um conjunto de avaliações e requisitos mínimos entre a camada de base (que se impõe ser armada com uma rede de fibra de vidro) e o painel isolante. Por inerência à experiência adquirida nos ETICS, é razoável admitir a relevância da camada de base no comportamento global da solução, com particular destaque à resistência ao impacto e à fissuração e capacidade de impermeabilização do sistema. A maioria de desenvolvimento relativamente a estes materiais, implica o estudo da concentração e tipo de resinas poliméricas combinadas com o ligante mineral (cimento Portland e/ou cal) de forma a otimizar o desempenho nestas propriedades em particular. A sua relação com a rede de reforço (tipicamente, malha de fibra de vidro, 4x4mm, 160g/m²) é igualmente relevante, e esta opção em particular justifica-se pelo melhor compromisso entre a capacidade de aderência da argamassa ao material isolante e a garantia de uma resistência à tração/impacto aceitável [4,5].

Na verdade, a garantia de desempenho do sistema ETICS só é alcançada quando se garante uma compatibilidade química, física e mecânica entre todos os seus componentes. Um dos casos mais críticos que pode condicionar tal compatibilidade prende-se com a relação entre a camada de base e o isolante de lã mineral que, pela sua elevada repelência, tende a prejudicar a “molhabilidade” da argamassa à sua superfície, condicionando o resultado ao nível de aderência e compatibilidade de materiais. Também é relevante considerar que, raramente se consideram propriedades específicas dos materiais para a interpretação do seu desempenho, embora se admita em alguns estudos que a retração ou módulo de elasticidade da argamassa podem estar na origem de alguns problemas associados a fissuração (no caso do módulo de elasticidade, é o próprio EAD que identifica o valor de 8GPa como valor máximo recomendável para um resultado eficaz). Adicionalmente, a aplicação da camada de base sobre a superfície da lã de vidro, revela alguns problemas tais como a dificuldade no espalhamento da argamassa sobre a respetiva superfície e a

falta de aderência em zonas pontuais na interface dos dois materiais, que se demonstra não só pelos valores baixos da tensão de rotura, como também no aparecimento de certas anomalias, tais como empolamentos e descolamentos. Considerando a problemática específica de compatibilidade entre uma camada de base mineral e o isolante de lã como uma questão complexa, o trabalho em questão, já apresentado no Congresso de Construção 2022, foi orientado no estudo de interpretação de causas para o efeito e apresentação de soluções de melhoria de interface [1,6,7].

Admite-se que as causas principais para esta anomalia se relacionam, por um lado, com a elevada hidrofobicidade da superfície da lã mineral, que tende a repelir a argamassa, sobretudo durante a fase de aplicação do estado fresco e, por outro lado, pelo facto de se observar heterogeneidade elevada na superfície da lã, causando zonas de fácil ou difícil ligação da argamassa, consoante a existência ou ausência de alguma hidrofiliçidade, conduzindo a zonas mais ou menos ligadas. Tal processo, faz com que o material não tenha um comportamento constante ao longo da superfície de contacto com a argamassa de camada de base, resultando em anomalias associadas à fraca aderência entre os dois e em roturas com comportamentos bastante heterogêneos (figura 1), não sendo por isso possível definir um padrão de rotura neste isolante. A prática empírica de pré-humedecimento da superfície da lã mineral revela-se como uma variável estratégica na melhoria de compatibilidade com a argamassa de camada de base. Considera-se que a humedificação da superfície da lã, por melhorar a hidrofiliçidade geral resulta numa maior homogeneização na superfície do isolante, sem condicionar negativamente as ligações com a argamassa, também ela hidrofílica (no sentido contrário, a tentativa de hidrofugar por completo toda a superfície piorou a compatibilidade do estado fresco, pela maior repelência), no âmbito do projeto de investigação. Porém, é questionável se a utilização de água na interface dos dois materiais diminui a aderência da argamassa no estado endurecido; ou, se existirá algum limite de presença de água após o qual delimita tal interação e, finalmente, se é possível melhorar o processo de humedecimento que se revela difícil dada a elevada hidrofobicidade da lã mineral e que resulta em repelência forte durante a aplicação de água [8,9].

Neste sentido, a investigação continuou com o propósito de perceber esta interação entre a camada de lã de vidro, a água e a argamassa. Com isto, os trabalhos desenvolvidos ao longo deste projeto de investigação, tiveram como principal objetivo desenvolver uma técnica que permitisse melhorar o espalhamento da argamassa sobre a superfície da lã de vidro e a sua aderência no estado seco. A metodologia consiste na adição de agentes molhantes ou surfactantes, moléculas capazes de causar uma alteração física na superfície dos líquidos. Independentemente do tipo, todas as possibilidades existentes possuem um grupo hidrofílico, solúvel em água, ligado a uma cadeia longa hidrofóbica. A presença de grupos polares e não polares contribuem para a facilidade de mistura de água com partes não hidrofóbicas, reduzindo a sua tensão superficial e permitindo o seu espalhamento para superfícies apolares como será o caso de uma lã mineral [10].



Figura 1 - Arrancamento de filamentos da lã de vidro quando a argamassa é aplicada na superfície seca. As figuras a), b) e c) são resultados de alguns testes da aplicação com espátula.

2. Materiais e Métodos

A metodologia experimental adotada consistiu na aplicação de uma argamassa de camada de base, constituída por cimento, resina redispersável, agregados de sílica, agentes reológicos e hidrófugos, sobre placas de lã de vidro em diferentes condições de preparação prévia (figura 2):

- Aplicação direta, sem aplicação de qualquer humedecimento prévio.
- Aplicação da camada de base após aplicação prévia de uma solução aquosa com diferentes concentrações de agente molhante (0,01, 0,02, 0,05 e 0,1%).

As aplicações da solução aquosa foram realizadas com auxílio de um rolo de pintura, com 3 a 5 passagens por caso. Após um período entre 10 a 15 minutos, aplicou-se a argamassa de camada de base numa espessura entre 3 e 5mm e deixou-se em cura a 55% Hr e 22°C durante um período mínimo de 7 dias. Após este período procedeu-se ao ensaio de aderência por tração perpendicular, por corte de uma área de 10x10cm, aplicação de um cerâmico sobre a mesma, e a aplicação de um disco metálico para servir de suporte à ligação ao dinamómetro de 16 kN (figura 3).

Em paralelo, relativamente ao conjunto lã de vidro e às várias soluções aquosas de pré-humedecimento, fizeram-se ensaios de absorção de água por capilaridade como forma de avaliar a velocidade e a extensão de humedecimento da superfície do isolante. Por outro lado, este ensaio também serviu para avaliar o quanto uma extensão elevada de humedecimento se poderá apresentar como negativa, por corresponder a um excesso de água absorvida e consequente degradação da própria lã mineral. Finalmente, fizeram-se ensaios de absorção de água por capilaridade a partir do contato de uma amostra de lã mineral (30x30x6cm) com um filme de solução aquosa com diferentes percentagens de agente molhante.



Figura 2 - Preparação dos provetes de análise por aplicação da solução aquosa com e sem agente molhante, seguida de aplicação da argamassa de camada de base.

A lã mineral (de vidro) utilizada para os ensaios experimentais foi o webertherm clima 34, um painel rígido de alta densidade de lã de vidro, não hidrófilo, com uma condutibilidade térmica de 0,034W/(m.K), absorção de água a curto prazo menor que 1kg/m² (EN 1609) e uma resistência à compressão de 15kPa (EN 826) [11].

A argamassa de camada de base usada foi o webertherm pro, que corresponde a uma mistura de cimento Portland, areias de sílica, polímero redispersável e adjuvantes orgânicos como éter de celulose, estearatos e fibras sintéticas. Tem uma massa volúmica endurecida entre 1200 e 1300kg/m³, absorção de água classe W2 e aderência sobre lã mineral superior a 0,08N/mm² (rotura pelo isolante), testes realizados segundo os métodos ensaios descritos pela EN 998-1 ou pela EAD 040083-00-0404 [12].

O agente molhante usado para a realização dos testes é um éster polisfosfórico de aquiléter, emulsionável à água, com extrato seco de 98% [13].



Figura 3 - Preparação dos provetes de análise por aplicação da solução aquosa com e sem agente molhante, e tipologias de rotura dos ensaios de aderência.

3. Resultados e Discussão

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados obtidos relativamente ao volume de água absorvido, velocidade de absorção, altura de lâmina de água absorvida pela lã mineral e a percentagem mássica de água retida após os ensaios de capilaridade realizados. Os resultados são apresentados em função da percentagem de agente molhante adicionado e para vários tempos de absorção realizados. A tabela 3 apresenta os resultados de absorção, após 2 minutos, em função da percentagem de agente molhante presente na água, mas a partir de aplicação com rolo de pintura, por forma a aproximar-se de uma situação de aplicação real.

Tabela 1 - Resultados de absorção de água por capilaridade após 15 minutos (900s) para as soluções aquosas relativamente à lã de vidro, em função da concentração de agente molhante.

Agente molhante (%)	Volume absorvido (mL; %)	Velocidade absorção (mL/s)	Altura de lâmina de solução absorvida (mm)
0	0	0	0
0,02	60; 20	0,07	6
0,05	70; 23	0,08	9
0,07	110; 37	0,12	10
0,10	155; 52	0,17	11

No sentido de melhorar o processo de humedecimento, testou-se a adição de um agente molhante à água. Este ensaio permitiu concluir que a quantidade de agente molhante na mistura de humedecimento influencia de forma direta a velocidade de absorção da lã, o que significa que quanto maior for a quantidade de agente adicionado, maior será a velocidade de absorção, mesmo quando a aplicação é realizada por rolo de pintura (tabela 3). Nos valores obtidos para as tabelas 1 e 2, a velocidade varia desde 0,07 ml/s até 0,17 ml/s, mantendo-se a amostra sem agente molhante totalmente hidrofóbica, não registando por isso qualquer tipo de absorção. No entanto, apesar do agente molhante influenciar a velocidade de absorção, é ainda necessário avaliar se este limita a capacidade de absorção da lã de vidro, isto é, se a lã em contacto permanente consegue absorver toda a mistura ou se a quantidade de agente molhante limita a quantidade absorvida. E, na verdade, os resultados obtidos, não obstante apontarem para o humedecimento como um fator positivo para melhorar a compatibilidade com a camada de base, também evidenciam que, com tempo de exposição exagerado ou com excesso de agente molhante, o volume de água absorvido pode ser elevado e contribuir para degradação do isolante (figura 4).

Tabela 2 - Resultados de absorção de água por capilaridade após 24h para as soluções aquosas relativamente à lã de vidro, em função da concentração de agente molhante.

Agente molhante (%)	Volume absorvido (mL; %)	Altura de lâmina de solução absorvida (mm)
0	0	0
0,02	100	> 12
0,05	100	> 12
0,07	100	> 12
0,10	100	> 12

Tabela 3 - Medição da absorção da mistura com agente molhante após 2 minutos da aplicação com o rolo

Agente molhante (%)	Mi (g)	Mf (g)	% aumento massa
0	294	314	7
0,02	272	334	23
0,05	300	488	63
0,07	280	508	81
0,10	282	532	89

**Figura 4** - A mistura de água com 0,1% de agente molhante resulta em absorção de água rápida e níveis elevados, que resultará num material que perde hidrofobicidade e durabilidade.

Tendo em consideração as observações dos ensaios de absorção capilar, é perceptível que a quantidade de agente a ser utilizada não deverá exceder os 0,05%, pois a absorção excessiva poderá prejudicar o desempenho do material enquanto isolante. Neste sentido, foram realizados outros ensaios de absorção capilar, com medições mais frequentes para amostras de lã de vidro em contacto direto com misturas de 0,03% e 0,05% de agente molhante, estando os resultados expressos na figura 5. Para além disso, foi necessário avaliar se as propriedades de absorção do sistema (lã + camada de base) seriam alteradas devido à utilização do agente molhante no humedecimento da superfície de contacto entre as duas camadas. Assim, foram realizados os mesmos ensaios de absorção para amostras de lã + camada de base, estando os resultados expressos na figura 6.

A análise das curvas da figura 5, demonstram que a utilização do agente molhante proporciona uma alteração significativa das propriedades de absorção capilar da lã de vidro, verificando-se que a absorção no fim do ensaio é aproximadamente 20 vezes superior nas

amostras com agente em comparação com as amostras que estiveram em contacto com a mistura sem agente. Por outro lado, a utilização de maiores quantidades de agente molhante proporciona uma absorção mais rápida nos primeiros momentos, havendo posteriormente uma tendência para um ponto de saturação, relativamente próximo nos dois tipos de amostras. As curvas de absorção capilar, para as amostras de lã + camada de base (figura 6) demonstram em primeira instância que, no sistema, a utilização do agente molhante não proporciona diferenças tão significativas, o que indica que a utilização do agente molhante não afetará, à priori, a capacidade de absorção de um ETICS.

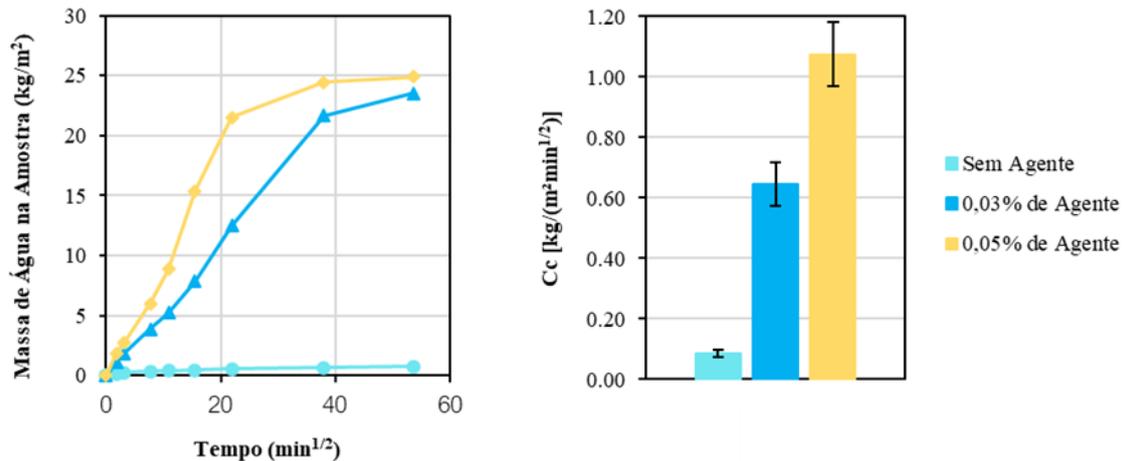


Figura 5 - Curvas de absorção capilar para as amostras de lã de vidro em contacto com as misturas com 0,03% e 0,05% de agente molhante

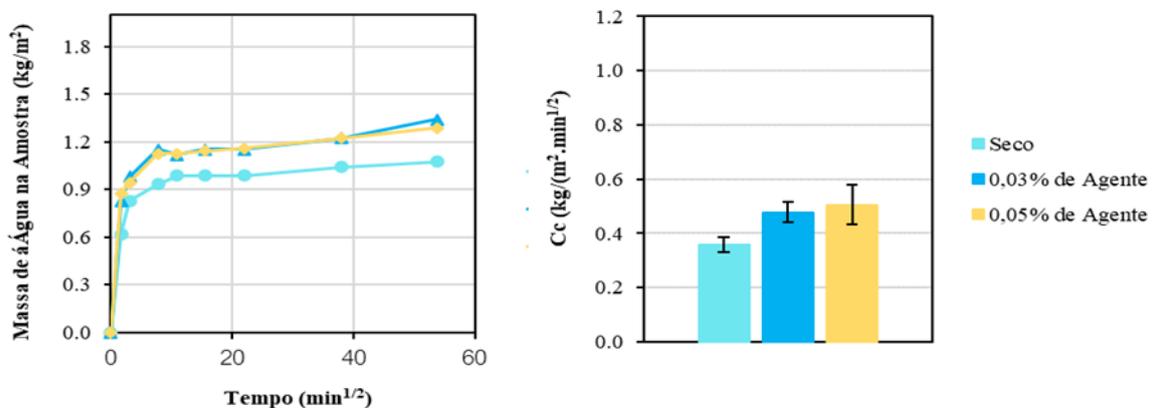


Figura 6 - Curvas de absorção capilar para as amostras do sistema (lã + camada de base)

A tabela 4 e figura 7 apresentam resultados respetivos aos ensaios de tração (*pull-off*) para as várias variáveis em estudo. Os resultados confirmam a tendência para o efeito positivo do humedecimento relativo da lã mineral a dois níveis: i) os valores de aderência tendem a ser superiores; e ii) a tipologia de rotura tende a ser mais profunda no próprio isolante, sugerindo maior compatibilidade química e física com a argamassa de camada de base. Adicionalmente, a utilização de agente molhante na solução usada para o humedecimento aponta para uma redução na variabilidade dos resultados, com menor desvio padrão, o que também é corroborado por maior constância da tipologia de rotura ao longo de toda a área de amostra em estudo.

Os resultados obtidos indicam que o agente molhante atua sobre a lã de vidro, alterando as suas propriedades hidrofóbicas e, quanto maior a sua percentagem, maior será a velocidade de absorção da própria lã. Por outro lado, a quantidade de agente molhante não limita a capacidade de absorção da lã uma vez que, independentemente da quantidade de agente molhante usada, a lã absorveu toda a mistura com a qual está em contacto, apenas em tempos diferentes, indicando que

que a percentagem do agente condiciona, sobretudo, a velocidade de absorção de água. Com efeito, com a utilização de maiores quantidades de agente molhante, obtém-se maior absorção de água pela lã em períodos menores.

Tabela 4 - Resultados de tração perpendicular (ensaio pull-off) para as diferentes combinações testadas ao nível do pré-humedecimento da lã mineral.

Agente molhante (%)	Aderência (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Tipologia de rotura
0	0,060	0,006	
0,03	0,070	0,003	Coesiva no isolante (mais profunda)
S/ humedecimento	0,056	0,005	Coesiva no isolante (superficial)

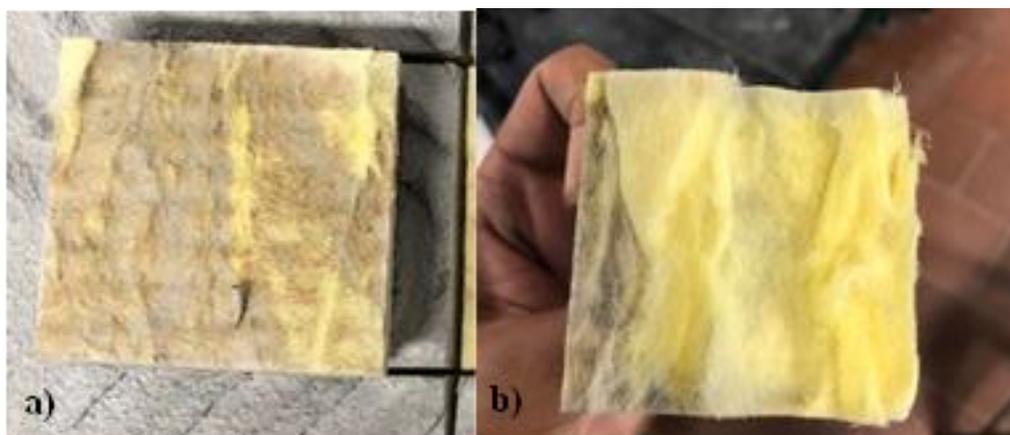


Figura 7 - Resultado do ensaio de tração na (a) superfície seca e na (b) superfície húmida com agente molhante, ao nível da tipologia de rotura obtida.

O agente molhante em causa, corresponde a um tensoativo, que atua diminuindo a tensão superficial da água que, em contacto com a superfície da lã, faz com que as gotas de água se desintegram e sejam absorvidas pelos poros de menores dimensões do isolante. Esta alteração das propriedades de absorção da lã mineral, proporciona a homogeneização da superfície de contacto entre as duas camadas, facilitando a ligação entre as mesmas. Para além disso, o processo de humedecimento proporciona uma diminuição do atrito entre o mecanismo de espalhamento da argamassa e a própria superfície, facilitando o respetivo mecanismo e impedindo que filamentos de lã sejam arrancados durante o mesmo processo. Também, os ensaios *pull-off* demonstraram que a utilização da técnica de humedecimento permite melhorar a aderência através de resultados com roturas mais coesivas, isto é, com maiores quantidades de lã arrancadas durante o processo de rotura, no entanto não foram registadas melhorias no que respeita ao valor da tensão de rotura. Contudo, para além da respetiva técnica permitir que a rotura seja mais coesiva, verifica-se que existe uma aproximação daquilo que se descreve como um padrão de rotura, havendo uma maior homogeneização no perfil de rotura das várias amostras. Finalmente, os resultados obtidos evidenciam o papel relevante de surfactantes ou agentes molhantes na melhoria de ligação entre as argamassas e uma superfície mais heterogénea como um painel de lã mineral. Este deverá ser um campo de pesquisa porque o universo de possibilidades destes agentes é enorme o que faz prever a possibilidade de otimização. Mais relevante é a consideração que a sua funcionalidade é diminuída se forem adicionados à argamassa o que constituiria uma melhoria significativa no processo de aplicação uma vez que reduz um passo na aplicação do sistema.

5. Conclusões

O estudo em questão elabora e apresenta uma metodologia de trabalho que tenciona apresentar a causa para anomalia específica de empoamento de camada de base sobre isolante de lã mineral e uma proposta de minimização ou eliminação da mesma, que assenta na hipótese de otimização por homogeneização de absorção da superfície da placa isolante. A partir dos trabalhos realizados no âmbito de um projeto de investigação, foi desenvolvida uma técnica de aplicação da camada de base sobre a lã, que permitiu dar uma resposta a estas questões. A técnica em causa, consiste na humidificação prévia da superfície da lã de vidro, com uma mistura de água com 0,03% de um agente molhante, aplicada com o auxílio de um rolo, e aplicação posterior da argamassa sobre a mesma superfície. Este procedimento resulta em valores de tração com maior homogeneidade ao longo de uma superfície de isolante e modos de rotura tendencialmente mais coesivos na própria lã.

Resumidamente, pode assumir-se que a técnica de humidificação com rolo melhora o espalhamento da argamassa sobre a superfície e permite resultados mais coesivos e homogêneos em comparação com a aplicação a seco. Adicionalmente, com a utilização do agente molhante garante-se que a superfície humedece de forma homogênea e facilita o próprio processo de humedecimento.

Por outro lado, a utilização deste tipo de agente levanta algumas questões sobre a alteração das propriedades isolantes da lã mineral, com impactos potenciais de colonização biológica ou perda de propriedades isolantes por incremento da condutibilidade térmica. Neste sentido, foram realizados ensaios de absorção capilar e de secagem, que permitiram verificar o impacto do mesmo agente na alteração das capacidades de absorção da lã e do sistema (lã e camada de base). Os resultados permitem concluir que a utilização do respetivo agente proporciona uma alteração significativa na capacidade de absorção da lã mineral, verificando-se que o incremento da sua quantidade resulta maior velocidade de absorção, embora com valores máximos absorvidos finais similares, apenas com diferença do tempo para o efeito, o que implica uma relação ótima a definir em função da relação com a dualidade tempo/quantidade de água adicionada.

A continuidade desta investigação deverá incidir em ensaios de validação a uma escala maior, de modo a que se possa fazer uma análise estatística mais detalhada, otimizar uma metodologia de análise da rotura e avaliar com maior foco os riscos potenciais de um excesso de humedecimento. Em paralelo, considerando a facilidade de processo, sugere-se o estudo de outros adjuvantes que possam resultar em desempenhos técnicos superiores do próprio isolante, sem condicionar as suas vantagens atuais.

Agradecimentos

Trabalho realizado no âmbito do projeto SRS - Smart Roofs System: Advanced Roofs Waterproofing System, POCI-01-0247-FEDER-046957, financiado por COMPETE 2020, Portugal 2020, FEDER. I.Flores-Colen e M. F. C. Pereira agradecem à FCT e às respectivas unidades de investigação CERIS [UIDB/04625/2020] e CERENA [UIDB/04028/2020].

Referências

- [1] B. PetterJelle, Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities, *Energy and Buildings*, 43(10) (2011) 2549-256.
- [2] C. Fernandes, J. Brito, C.O. Cruz, Architectural integration of ETICS in building rehabilitation, *Journal of Building Engineering*, 5 (2016) 178-184.
- [3] R. Dylewski, J. Adamczyk, Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls, *Building and Environment*, 46 (12) (2011) 2615-2623.
- [4] European Assessment Document EAD 040083-00-0404—External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings; European Organization for Technical Approvals: Brussels, Belgium, 2019.
- [5] CEN. EN 998-1: Specification for Mortar for Masonry. Part 1: Rendering and Plastering

- Mortar; European Committee for Standardization (CEN): Brussels, Belgium, 2010.
- [6] A. M. Freitas, Vasco Peixoto de; Miranda, Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS - LFC-IC-282A-2014, Porto - Portugal, 2014.
- [7] D. Cardoso, I. Flores-Colen, M. Pereira, P. Ferreira, P. Sequeira. L. Silva, Melhoria de desempenho do ETICS, com base em lã mineral, por homogeneização da superfície de interação entre componentes, Congresso Construção 2022 Dezembro, Guimarães, Portugal, 2022.
- [8] M. Jiříčková, Z. Pavlík, L. Fiala & R. Černý, Thermal Conductivity of Mineral Wool Materials Partially Saturated by Water, *International Journal of Thermophysics*, 27 (2006)1214–1227.
- [9] M. Jiříčková, R. Černý, Effect of hydrophilic admixtures on moisture and heat transport and storage parameters of mineral wool, *Construction and Building Materials*, 20 (2006) 425-434.
- [10] V.B. Fainerman, D. Mobius, R Miller (eds.). *Surfactants: Chemistry, interfacial properties, applications*. Elsevier, New York, 2001.
- [11] Saint-Gobain Portugal, ficha técnica webertherm pro, 2022.
- [12] Saint-Gobain Portugal, ficha técnica webertherm clima 34, 2022.
- [13]<https://surfacetreatment.lamberti.com/markets/architectural-paints/technical-data-for-paints.html>

ORCID

Inês Flores-Colen	0000-0003-4038-6748 (https://orcid.org/0000-0003-4038-6748)
Manuel Pereira	0000-0002-7932-8062 (https://orcid.org/0000-0002-7932-8062)
Luis Silva	0000-0002-0925-8572 (https://orcid.org/0000-0002-0925-8572)