

Eficácia e compatibilidade de produtos anti-graffiti em ETICS

BERNARDO CATITA GIL¹

GIOVANNI BORSOI¹

JOÃO L. PARRACHA^{1,2}

AMÉLIA DIONÍSIO³

INES FLORES-COLEN¹

ROSÁRIO VEIGA²

¹ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa | Lisboa | Portugal

² NRI, LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil | Lisboa | Portugal

³ CERENA, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa | Lisboa | Portugal

Autor correspondente: giovanni.borsoi@tecnico.ulisboa.pt

Palavras-chave

ETICS, Produtos *anti-graffiti*, Remoção *graffiti*, Eficácia, Propriedades físicas

Resumo

A utilização de sistemas ETICS (sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante) tem aumentado consideravelmente em Portugal na última década. Estes sistemas apresentam numerosas vantagens (p. ex. custo relativamente baixo, correção de pontes térmicas, requalificação energética do edifício, etc.), apesar de serem suscetíveis, ao longo da sua vida útil, ao aparecimento de manchas (também de origem biológica) e microfissuras. São também frequentemente identificadas lacunas, ligadas aos impactos acidentais ou atos de vandalismo, bem como manchas resultantes da execução de *graffiti*.

Em relação aos atos de vandalismo com *graffiti*, a sua remoção em ETICS é uma prática pouco frequente e, como evidenciado em estudos anteriores, os métodos mais usados (p. ex. aplicação de produtos químicos, com elevada acidez ou basicidade; sistemas de alta pressão ou escovagens abrasivas) podem afetar a durabilidade do ETICS (p. ex. alterar as propriedades do isolante, camada de base ou acabamento). Neste contexto, a utilização de produtos *anti-graffiti*, que apresentam uma elevada afinidade química com as matrizes poliméricas que compõem a maioria das tintas spray de *graffiti*, pode ser uma opção interessante a considerar.

Este estudo pretende, assim, avaliar a eficácia de 3 produtos comerciais *anti-graffiti* (do tipo permanente, semi-permanente e sacrificial) quando aplicados em ETICS. Para a remoção de duas tintas de spray, habitualmente usadas na execução de *graffiti* (azul ultramarino e prateado metálico, baseadas em resinas alquídicas ou poliolefinas), adotou-se uma metodologia de remoção usando jato de vapor a baixa pressão (3 bar), por forma a minimizar o seu impacto nas características físicas do substrato tratado (ETICS). Avaliaram-se as propriedades de transporte de água (absorção capilar e secagem), assim como algumas propriedades físicas das superfícies (cor, brilho, rugosidade, dureza) antes e após remoção dos *graffiti*.

Os resultados demonstraram que a remoção das tintas de *graffiti* é, tendencialmente facilitada, no caso da aplicação do produto *anti-graffiti* do tipo permanente. Todavia, este produto apresenta um efeito mais significativo nas propriedades de transporte de água no substrato. O produto *anti-graffiti* semi-permanente tem um desempenho moderado na remoção das tintas de *graffiti*, sendo mais eficaz no caso da tinta azul, com reduzida alteração de algumas propriedades físicas (e.g. cor, brilho, rugosidade) do sistema ETICS. Por fim, o produto *anti-graffiti* do tipo sacrificial mostra-se pouco eficaz na remoção das tintas de *graffiti* neste tipo de sistemas de revestimento.

1| INTRODUÇÃO

A necessidade de melhorar o comportamento térmico dos edifícios e de assim reduzir as suas emissões de gases com efeito estufa tem levado à implementação de várias diretivas e regulamentações cada vez mais exigentes no que diz respeito à eficiência energética dos edifícios [1,2]. Assim, tanto a construção nova como a reabilitação térmica do edificado já existente, devem adotar soluções construtivas mais sustentáveis e que contribuam para o conforto higrotérmico dos edifícios. Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS, são uma solução cada vez mais frequente na indústria da construção, devido não só contribuírem para a eficiência energética dos edifícios, mas também pelas vantagens que apresentam face a outras soluções (p. ex. relativa facilidade de aplicação e baixo custo, correção de pontes térmicas) [3,4]. No entanto, estes sistemas não são recomendáveis em edifícios com condicionantes arquitetónicas, bem como em paredes antigas com acumulação de humidade ou presença de sais solúveis. Além disso, os ETICS apresentam algumas desvantagens, como o desenvolvimento de condensações, problemas por vezes de aderência entre os diferentes componentes do sistema e a sua suscetibilidade à colonização biológica. Por todos estes motivos, a otimização destes sistemas e a compreensão dos fatores que afetam a sua durabilidade, são aspetos relevantes para um desempenho eficaz do sistema ao longo do tempo.

As anomalias estéticas identificadas nos ETICS (p. ex. descoloração, colonização biológica) têm condicionado fortemente a aplicação destes sistemas. Adicionalmente, a constante exposição dos ETICS aos agentes atmosféricos (variações higrotérmicas, precipitação, vento, radiação solar, etc.) e agentes antrópicos (atos de vandalismo, poluição atmosférica) [4,7] pode afetar significativamente a eficiência térmica e a durabilidade destes sistemas. Entre estes últimos, destacam-se os *graffiti* (tintas em aerossol, marcadores, *stencils*), que afetam cerca de 10% das fachadas de ETICS em Portugal [8].

A execução de *graffiti*, bem como a sua posterior remoção, pode causar não só efeitos estéticos negativos, mas também induzir uma alteração da textura e capacidade de absorção-secagem dos ETICS, com possível aceleração dos processos de degradação. A aplicação de uma nova camada de tinta, em cima dos *graffiti*, é uma intervenção frequente, mas a repetição desta ação leva à formação de um acabamento multicamada com propriedades físico-químicas diferentes do substrato original frequentemente com sombras e manchas de cores diferentes [9-11].

A remoção químico-mecânica de *graffiti* em ETICS, através do uso de removedores ácidos ou alcalinos e escovagem mecânica, ou aplicação de jato de água a elevada pressão (100 bar) [9, 12], tem evidenciado a sua ineficiência e incompatibilidade com o suporte, podendo afetar a estabilidade e durabilidade do isolante térmico (EPS) e induzir lacunas e perdas de material na camada de base e de acabamento dos ETICS. Além da remoção ser pouco eficaz, estes métodos podem também afetar as componentes poliméricas dos ETICS e alterar as suas propriedades de transporte de água, seja através do aumento da capacidade de absorção de água, seja por um processo de secagem mais lento.

A utilização de produtos de proteção, nomeadamente *anti-graffiti*, pode ser uma alternativa viável. Atualmente existem no mercado numerosas soluções de produtos *anti-graffiti*, que são classificados como sacrificiais (aquando da remoção, tanto o produto como o *graffiti* são eliminados do substrato), semi-permanentes (permitem 2 a 3 ações de remoção dos *graffiti* na mesma zona, sem remoção do produto) ou permanentes (resistem a numerosos ciclos de remoção de *graffiti*) [13-15]. A comunidade científica tem-se focado principalmente no estudo da eficácia e impacto destes produtos em substratos pétreos [16, 17], nos quais o impacto dos *graffiti* é particularmente relevante. Os produtos *anti-graffiti*, formulados normalmente com nanopartículas, produtos híbridos à base de sílica ou compostos fluorinados, e dispersos em água ou solvente orgânicos [13, 18-20], possibilitam uma maior facilidade na remoção dos *graffiti* e minimizam eventuais anomalias superficiais que surjam no processo de remoção [16,20]. Estes produtos, por vezes, têm propriedades hidrófugas [20], reduzindo assim a penetração de água no substrato tratado, mas também alterando as propriedades de transporte de água em fase vapor, podendo ser potencialmente prejudiciais para o substrato [16,18].

Neste estudo, avalia-se a eficácia da remoção de *graffiti* em ETICS através da ação combinada de produtos *anti-graffiti* e um método de remoção, baseado no uso de um jato de vapor a baixa pressão (3 bar). A compatibilidade e eficácia de 3 produtos *anti-graffiti* é também verificada utilizando uma metodologia otimizada anteriormente pelos autores [21-23]. Finalmente, avaliou-se o impacto destes produtos nas propriedades físicas (rugosidade, cor, brilho) e de transporte

de água (absorção capilar e secagem) dos ETICS.

2| MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Analisaram-se quatro tipologias de ETICS comerciais e homologados, com diferentes placas de isolamento térmico (polistireno expandido – EPS; lã mineral – MW; aglomerado de cortiça expandida – ICB), camadas de base (cimentícia e/ou à base de cal hidráulica natural) e camadas de acabamento (de base acrílica, silicato ou cal). Foram usados provetes com dimensões médias de 15 x 15 cm² e 15 x 7 cm² e de espessura variável (Tab. 1).

Tabela 1. Características dos componentes dos ETICS (com base nas fichas técnicas de produto)

Sistema	Isolante térmico	Camada de base	Camada de acabamento		Espessura do ETICS (mm)
			Primário	Acabamento	
E1	EPS	Argamassa cimentícia	Aquoso a base acrílica	A base de um copolímero acrílico, dispersão em água	≈ 42
E2	ICB	Argamassa a base de cal hidráulica natural e cimento	Barramento a base de cal e pigmentos		≈ 65
E3	MW	Argamassa cimentícia	Aquoso a base copolímero acrílico	Aquoso a base acrílica	≈ 42
E4	ICB	Argamassa a base de cal hidráulica natural e cimento, com agregados de cortiça	Aquoso a base de silicatos	Aquoso a base de silicatos	≈ 65

* os sistemas incluem na camada de base uma rede de fibra de vidro

Utilizaram-se duas tintas aerossol de *graffiti*, nomeadamente o azul ultramarino (código BLK 5080), identificado como *B*, e o prateado metálico (código EX014H0101), identificado como *S*, da marca Montana Colors™ S.L. Estas tintas de aerossol são formuladas com base em resinas alquídicas ou poliioleofinas, com cargas minerais de SiO₂ e TiO₂ (no caso de *B*) ou de Al₂O₃ (no caso de *S*) [24, 25]. Três produtos *anti-graffiti* comerciais foram testados, nomeadamente:

- **AG1 - Sacrificial:** solução aquosa de base acrílica, com ceras e álcoois etoxilados, contendo biocidas; compatível com pedra, argamassas e madeira, usada como proteção de tintas de *graffiti* e marcadores, bem como humidade e poluentes atmosféricos (informação de acordo com o fabricante);
- **AG2 - Semi-permanente:** solução aquosa nanoestruturada à base de óxido de silício e titânio, contendo biocidas; compatível com pedra, cerâmica e argamassas, forma uma camada impermeável e de proteção em relação a tintas aerossol e marcadores (informação de acordo com o fabricante);
- **AG3 - Permanente:** solução de poliorganosiloxano dispersos em solventes orgânicos; é aplicado em combinação com um primário; compatível com betão, madeira, argamassas e metais, garante uma camada super-hidrófuga e oleofóbica com propriedades *anti-graffiti* (informação de acordo com o fabricante).

2.2 Aplicação e remoção do *graffiti*

Os produtos *anti-graffiti* foram aplicados sem diluição e à temperatura ambiente (T ≈ 20°C) usando um pincel (Fig. 1a), e aplicando 2 demãos em direções ortogonais e com um intervalo de 24h. Aplicou-se uma quantidade semelhante de produto (entre 0,001-0,004 l/m²), por cada demão. No caso do produto AG1 foi necessário recorrer a uma quantidade

levemente superior aos restantes.

As tintas aerossol B e S foram aplicadas com um ângulo de 45° e uma distância de 15 cm da superfície nebulizada (Fig. 1b), com duas aplicações em direções ortogonais. Após as aplicações, os provetes foram armazenados numa sala condicionada (T = 20°C, RH = 50%) durante 15 dias, de forma a agilizar uma polimerização completa das tintas aerossol.

Os *graffiti* foram removidos utilizando um lavadora a vapor (Karcher SC1) a baixa pressão (3 bar) (Fig. 1c), em alguns casos com o auxílio só de jato de vapor, em outros casos combinando a ação do vapor com a escovagem manual. A escovagem foi repetida em direções ortogonais, repetindo o procedimento até 6 vezes em alguns casos, função do nível de limpeza alcançado.



Fig. 1 – a) Aplicação de produtos *anti-graffiti*; b) Aplicação de tintas de aerossol (azul ultramarino); c) remoção de *graffiti* com jato de vapor de água a baixa pressão.

2.3 Caracterização da eficácia e compatibilidade

A campanha experimental focou-se na avaliação das características físicas superficiais (cor, brilho, rugosidade), bem como na avaliação das propriedades de transporte de água dos ETICS em fases distintas: pré e após aplicação de produtos *anti-graffiti* e remoção das tintas de *graffiti*.

A rugosidade superficial foi avaliada usando um medidor de perfil de superfície Elcometer 223, (medição pico-vale). Nestes dois ensaios, foi usada uma matriz de cartão, aplicada na superfície dos provetes, de forma a permitir a repetição das medidas nos mesmos pontos, efetuando 6 medições por provete.

O brilho especular foi medido de acordo com a norma ASTM D6578 [26], usando um PCE-PGM 100 (intervalo de medida 0-1000 GU, resolução 0.1 GU), e efetuando 6 medições por amostra, considerando um ângulo de incidência de 60°.

O colorímetro portátil Minolta CR-410 foi usado para medir as coordenadas colorimétricas, aplicando um iluminante padrão D₆₅ e um ângulo de medição de 2°, numa área aproximativa de 50 mm². A norma ASTM D2244 [27], que considera o sistema CIELAB [28], foi adotada. A variação total de cor (ΔE_{ab}^*) entre fases diferentes do estudo, foi calculada de acordo com o preconizado na norma ASTM D2244 [27], conforme equação 1:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

onde ΔE^*_{ab} é a variação de cor entre duas fases consecutivas em estudo; ΔL^* , Δa^* e Δb^* as variações de luminosidade (L^*) e das coordenadas colorimétricas a^* e b^* , respetivamente. Determinou-se também a saturação (chroma - C_{ab}^*) de acordo com [28], conforme equação 2:

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

onde C_{ab} é o valor da saturação, que representa o grau de pureza da relativa cor no que confere o cinza neutral ($C_{ab} = 0$).

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi executado com base no procedimento definido pelo EAD 040083-00-

0404 (2019) [29]. A quantidade de água absorvida para cada amostra, parcialmente imersa em água, foi monitorizada a intervalos específicos (3 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h e 24 h). Traçaram-se as curvas de cinética de absorção de água por capilaridade e determinou-se o coeficiente de capilaridade (considerando o intervalo 0-3 min), i.e. [30], conforme equação 3:

$$Cc = \frac{M_1 - M_2}{A\sqrt{0,05}} \quad (3)$$

onde Cc é o coeficiente de absorção de água por capilaridade ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$); M_1 a massa inicial da amostra (kg); M_2 a massa da amostra (kg) após 3 minutos de absorção; A a área da amostra (m^2).

Finalmente, a cinética de secagem foi avaliada de acordo com o procedimento normativo EN 16322 [31]. Após o ensaio de absorção de água por capilaridade, as amostras foram armazenadas numa câmara climática ($T = 20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 50 \pm 5 \%$) e pesadas a intervalos definidos (10, 30 min; 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72, 144 e 168 h). O ensaio terminou quando a variação de massa observada entre duas pesagens consecutivas foi $< 1\%$. Seguidamente, calcularam-se as taxas de secagem na fase 1 (TS1, na fase líquida) e 2 (TS2, na fase vapor), e o índice de secagem (IS), de acordo com EN 16322 [31].

3 | RESULTADOS

3.1. Rugosidade superficial

Apresenta-se na Figura 2 os valores de rugosidade superficial dos provetes nas várias etapas de ensaio, ou seja, amostras de referência, após aplicação dos produtos *anti-graffiti* e após a remoção dos *graffiti*. Os resultados evidenciam que o sistema E3 é o mais rugoso ($0,794 \pm 0,324 \text{ mm}$), enquanto o sistema E4 é o mais liso ($0,502 \pm 0,081 \text{ mm}$). Como especificado em estudos anteriores [32, 33], a variação da rugosidade é considerada significativa só quando a diferença entre valores médios (das referências e nas várias fases do estudo) é superior ao desvio padrão determinado para os ETICS de referência. Após a aplicação dos produtos *anti-graffiti*, a rugosidade não variou significativamente nos sistemas E1, E3 e E4 (até 10%), e aumentou no caso do sistema E2 (até 40%).

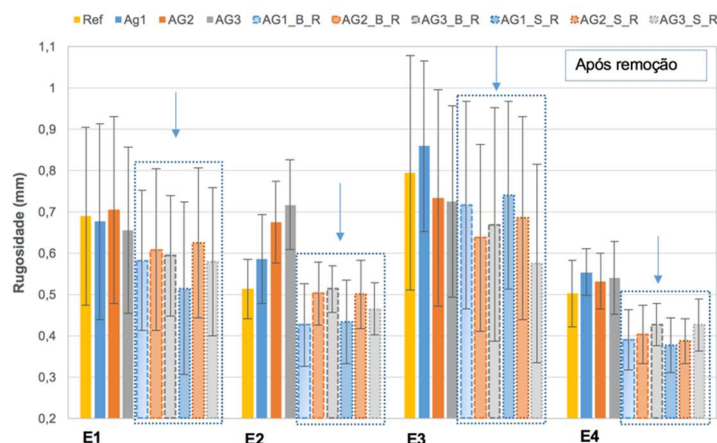


Fig. 2 – Rugosidade superficial dos provetes de referências (Ref), após aplicação dos produtos *anti-graffiti* (AGx) e após a remoção dos *graffiti* (B = tinta azul; S = tinta prateada; R = após remoção de *graffiti*).

A aplicação das tintas de *graffiti* induziu geralmente uma homogeneização da rugosidade em todos os provetes. Contudo, após a sua remoção notou-se uma suavização, sobretudo no caso do provete E2 e E4 (acabamentos à base de cal hidráulica natural e de silicato, respetivamente). A moderada erosão e lixiviação dos materiais, que constituem as camadas de base e acabamento, pode ser atribuída à escovagem manual da superfície.

3.2. Brilho e cor

Os sistemas E2 e E4, que são também os mais lisos, apresentaram igualmente valores mais elevados de brilho especular (1.64/1.66 GU), como se pode observar nas Fig. 3. No entanto, valores significativamente mais baixos foram observados no caso do sistema E3 (0.86 GU) (Figura 3). Após a aplicação dos produtos *anti-graffiti*, verificou-se que o produto AG3 (permanente) induziu a maior variação de brilho, com valores consideravelmente superiores (8.16 GU, no caso do provete E4). Adicionalmente, e como expectável, a aplicação da tinta de aerossol prateada induziu uma notável alteração do brilho (até +64%, no caso de E4.AG3.S).

A remoção das tintas de *graffiti*, com esta técnica pouco invasiva (secção 2.2), induziu, de forma geral, a uma diminuição do brilho, com valores inferiores ao brilho inicial no caso dos provetes com AG1, que foi quase totalmente eliminado durante o processo de remoção. O produto semipermanente AG2 mantém valores semelhantes de brilho após remoção, com exceção do provete E2 (a base de cal aérea). Finalmente, o produto AG3 continua a manter valores de brilho elevados, com variações superiores a 2GU e, por isso, visíveis a olho nu. A maior variação foi observada no caso do provete E4.AG3.B (10%). De forma geral, o produto AG3 (permanente) é o que afeta maioritariamente o brilho das superfícies dos ETICS (Figura 3).

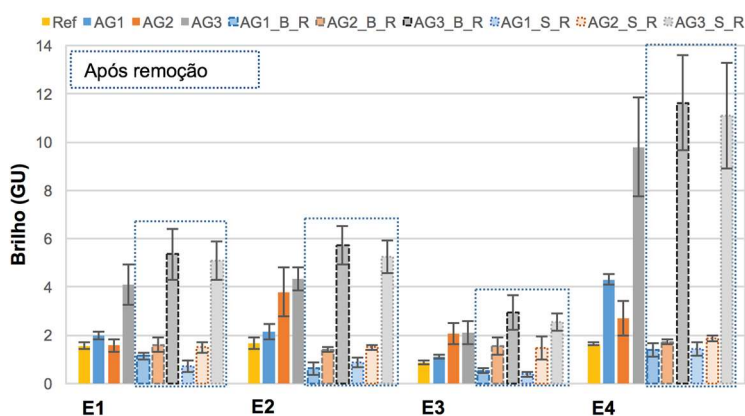


Fig. 3 – Brilho especular dos provetes de referências (Ref), após aplicação dos produtos *anti-graffiti* (Agx) e após a remoção dos *graffiti* (B = tinta azul; S = tinta prateada; R = após remoção de *graffiti*).

No que diz respeito à cor (Fig. 4), os resultados indicam que os provetes de referência estão perto de um branco ideal, com o provete E4 (com acabamento à base de silicato) que se destaca pela luminosidade mais elevada ($L^*=95.30$) e menor croma ($C^*_{ab}=0.85$). A aplicação dos produtos *anti-graffiti* induziu, no geral, um aumento da coordenada cromática b^* , ou seja, alguns provetes ganharam uma tonalidade mais amarelada, o que é particularmente evidente no caso do produto AG1 (destacando-se o provete E4.AG1, no qual se observa um aumento de +570% na coordenada b^* e, portanto, uma alteração consistente da cor). Tal como esperado, a aplicação das tintas azul e prateada induziu forte alteração da cor em todos os provetes ($\Delta E^*_{ab} \geq 61$ CIELAB unidades). A tinta prateada aparentemente tem valores de luminosidade e croma perto do zero (Fig. 4), devido ao seu elevado brilho (Fig. 3), que é induzido através da inclusão de partículas de alumínio.

O processo de remoção da tinta de *graffiti* azul revelou-se pouco eficaz no caso dos provetes onde foi aplicado o produto AG1, que continuam a manter uma tonalidade fortemente azulada após o processo de limpeza (valores negativos de b^*) (Fig. 4). De facto, os valores de ΔE^*_{ab} dos provetes com aplicação do produto AG1 são sempre superiores a 10 unidades CIELAB, sendo particularmente elevados também no caso dos provetes com tinta prateada (Tab. 2).

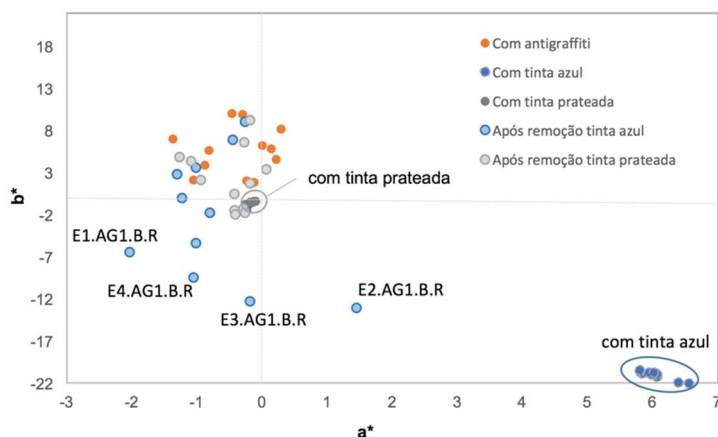


Fig. 4 – Variação da das coordenadas cromáticas CIELAB a* e b* dos provetes de referência, após aplicação dos produtos *anti-graffiti* (Agx) e após a remoção de *graffiti* (B = tinta azul; S = tinta prateada; R = após remoção de *graffiti*).

Tab. 2 - Variação total de cor (em comparação com o estado novo) após a fase de remoção do *graffiti* (em verde $\Delta E^*_{ab} < 5$, em amarelo $5 < \Delta E^*_{ab} < 10$, em vermelho $\Delta E^*_{ab} > 10$ unidades CIELAB).

Sistemas ETICS	Sem <i>graffiti</i> aplicado			Tinta Azul			Tinta Prata		
	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3	AG1	AG2	AG3
E1	2,06	2,30	2,33	12,31	5,31	1,74	33,02	10,60	4,20
E2	3,54	1,54	6,01	40,95	8,56	6,17	33,20	6,85	6,69
E3	1,30	2,70	3,19	28,77	9,64	2,13	31,82	15,70	3,11
E4	1,24	1,93	4,10	16,32	9,20	3,15	31,62	5,77	4,06

O produto AG1 não permitiu uma remoção eficaz das tintas de *graffiti* aplicadas em ETICS, independentemente do tipo de sistema ETICS considerado. Pelo contrário, o produto AG3 garantiu valores de ΔE^*_{ab} sensivelmente mais baixos após a remoção de ambas as tintas (azul e prateada), registando-se valores $< 5 \Delta E^*_{ab}$ (não visíveis a olho nu), com exceção do sistema E2 (acabamento à base de cal). O produto AG3 permitiu, por isso, uma remoção eficaz das tintas de aerossol (Figura 5).

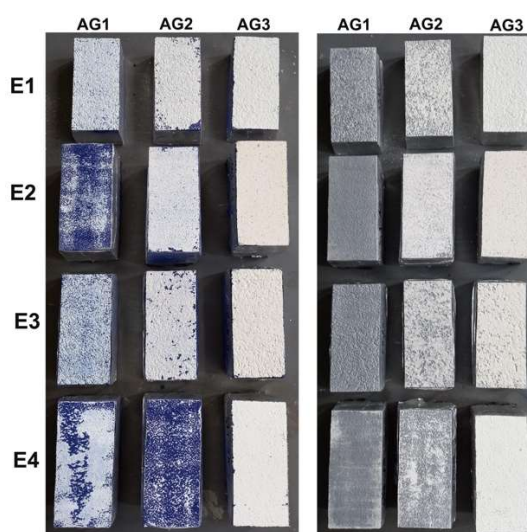


Fig. 5 – Fotos dos provetes com os *anti-graffiti*, após a remoção (x2) das tintas azul e prateada, nos diferentes tipos de ETICS analisados.

Finalmente, o produto AG2 foi bastante eficaz na remoção da tinta prateada, com valores aceitáveis principalmente nos acabamentos mais lisos e de base acrílica (como no caso de E1), e valores aceitáveis no caso dos acabamentos à base de cal (E2) e de silicato (E4). Contudo, foi mais difícil a remoção completa da tinta prateada em comparação com a tinta azul, o que pode ser explicado pela formulação da tinta prateada, que é composta por elevadas quantidade de partículas de óxido de alumínio (Fig. 5).

3.3. Absorção de água por capilaridade e secagem

Relativamente aos provetes de referência, o sistema E1 (acabamento de base acrílica) apresenta o menor coeficiente de capilaridade ($0.035 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$) e o sistema E2 (acabamento à base de cal) o valor mais elevado ($0.122 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$), como também confirmado em estudos anteriores [21,23].

Os produtos AG2 e AG3 conferiram às superfícies dos ETICS maiores propriedades hidrorrepelentes. De facto, verificou-se a diminuição do coeficiente de capilaridade em todos os sistemas, mais acentuada no caso dos provetes E2.AG2 (-92%) e E2.AG3 (-90%), se comparados com as referências (sem produto de proteção aplicado). No caso da aplicação do produto AG1, observou-se uma diminuição do coeficiente de absorção de água por capilaridade dos provetes do sistema E1. No entanto, verificou-se um aumento do valor deste coeficiente (entre 18% e 99%) no caso dos outros sistemas. Estes resultados podem estar relacionados com a presença de polissacarídeos no produto AG1, com propriedades hidrofílicas [34].

Tal como expectável, a aplicação das tintas de *spray* azul e prateada, de base polimérica e com propriedades hidrófugas, induziram, no geral, a uma diminuição do coeficiente de capilaridade, com valores mais acentuados no caso do provete E2.AG2.B (-95%) e menos evidentes no caso do provete E3.AG1.S (-12%). Após a remoção das tintas de *graffiti*, os valores dos Cc geralmente diminuíram, se comparados com o estado inicial (Fig. 6), com variações mais evidentes no caso dos provetes E2 (acabados com cal) e com os produtos AG2 e AG3. Os resultados dos produtos AG2 e AG3 podem ser atribuídos à as suas propriedades (semi)permanentes, que assim mantém uma camada protetiva e hidrófuga nos sistemas. Por outro lado, apesar da provável remoção parcial do produto AG1 (sacrificial) com as próprias tintas de *graffiti*, uma menor eficácia na remoção e, como resultado, a existência de resíduos de tinta de *graffiti* na superfície, poderiam explicar estes valores.

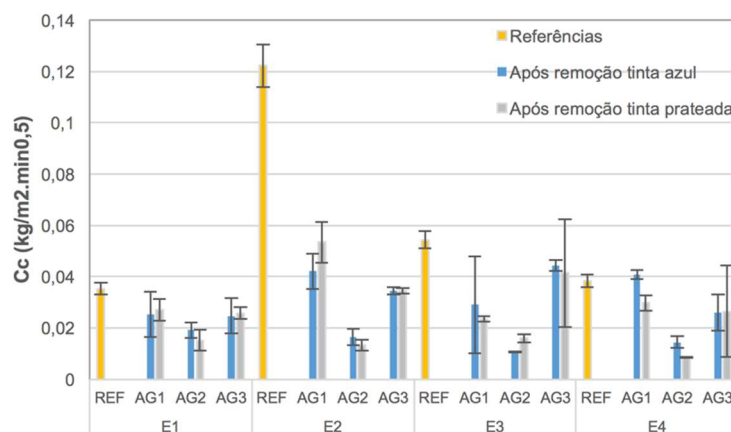


Fig. 6 – Coeficientes de capilaridade (Cc) dos provetes de referência e após a remoção da tinta azul e prateada.

Em suma, o processo de remoção das tintas de *graffiti* por escovagem, por quanto pouco abrasivo e agressivo se comparado com outros métodos de remoção [21,12], pode afetar a quantidade de poros capilares e, portanto, a distribuição porosimétrica.

Relativamente à cinética de secagem, os sistemas E1 e E3 (de base cimentícia, com acabamento acrílico) no estado inicial apresentaram as taxas de secagem (TS1 e TS2) mais baixas e, portanto, o maior índice de secagem (0.193 e 0.184

kg/m².min^{0,5}, respetivamente). Pelo contrário, os provetes com acabamento de cal (E2) ou de silicato (E4) apresentaram índices de secagem consideravelmente inferiores (0.055 e 0.074 kg/m².min^{0,5}) (Fig. 7).

A aplicação dos produtos *anti-graffiti* afetou, em todos os casos, o índice de secagem (Is). A capacidade de secagem dos provetes foi mais afetada no caso do sistema E3 (sendo significativamente mais rugoso, uma maior quantidade de produto pode ter sido acumulada na superfície) com a aplicação do produto AG3. A aplicação das tintas de *graffiti* induziu um aumento significativo de IS, sendo mais relevante no caso do provete E2.AG3.S (+435%).

Após a remoção das tintas de *graffiti*, é interessante notar que os valores das taxas e do índice de secagem voltaram a aproximar-se dos valores obtidos nas amostras de referência (Fig. 7), com exceção dos provetes do sistema E2. Estes resultados podem ser justificados, no caso dos provetes com a aplicação dos agentes de proteção AG2 e AG3, pelo processo de remoção pouco intrusivo das tintas de *graffiti*. No caso dos provetes com o agente de proteção AG1, que é possivelmente removido das superfícies durante o processo de limpeza, a escovagem mecânica poderá explicar os resultados. As variações mais significativas encontram-se nos provetes E2, com variação do Is até +263.08% no caso do provete E2.AG1.B, o que sugere que o acabamento à base de cal é significativamente afetado, com possíveis processos de dissolução e reprecipitação do CaCO₃, e modificação da estrutura porosa do substrato. Finalmente, o elevado desvio padrão, observado nos provetes E3, pode ser atribuído à heterogeneidade da remoção do *graffiti* devido a uma elevada rugosidade deste sistema.

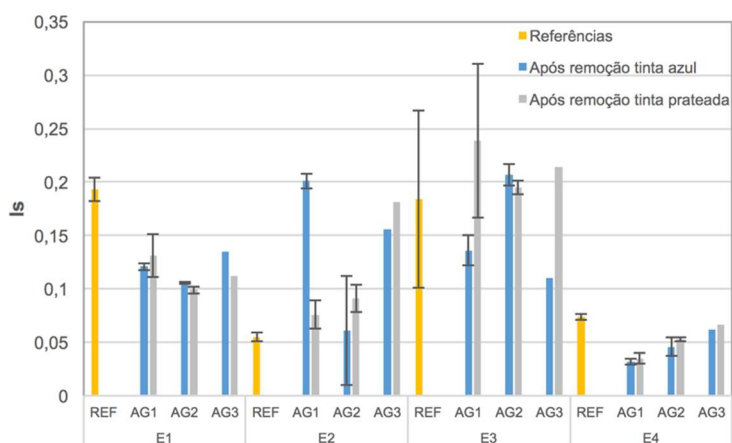


Fig. 7 – Índices de secagem (Is) capilar dos provetes de referência, e após a remoção das tintas azul e prateada, respetivamente.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos provetes dos sistemas ETICS com a aplicação das tintas aerossol de *graffiti* (azul e prateado) confirmam a necessidade da sua remoção das superfícies destes sistemas de isolamento térmico pelo exterior, devido não só à alteração das coordenadas colorimétricas, como também à formação de superfícies altamente hidrófugas e com elevada resistência à secagem, que poderão induzir problemas de permeabilidade ao vapor de água, afetando a sua durabilidade a longo prazo.

No que confere a técnica de remoção de tintas de *graffiti*, a combinação de escovagem mecânica manual e jato de vapor de água a baixa pressão forneceu resultados interessantes e não promoveu alterações significativas das superfícies tratadas, demonstrando, assim, ser uma opção menos invasiva se comparada com os métodos de remoção tradicionais à base de substâncias com pH extremamente elevados ou baixos ou ações mecânicas demasiado invasivas (por exemplo, jato de água a elevada pressão) [9, 12].

A aplicação de produtos *anti-graffiti* não influenciou significativamente a rugosidade superficial dos ETICS, apesar de

induzir às superfícies um tom amarelado (no caso do produto sacrificial AG1) e um aumento relevante do brilho (no caso do produto permanente AG3), se comparado com as características iniciais das superfícies dos provetes. Adicionalmente, a aplicação dos produtos *anti-graffiti* de carácter permanente (AG2) ou semi-permanente (AG3) aumentou a hidrofobicidade dos ETICS, bem como o tempo de secagem das superfícies. No entanto, o produto sacrificial AG1, formulado também com aditivos hidrófilos, promoveu a absorção de água por capilaridade e retardou o processo de secagem após remoção. A aplicação de AG1, apesar da sua reversibilidade, poderá favorecer a acumulação de água na superfície, afetando a durabilidade dos sistemas.

Após a remoção das tintas de *graffiti* das superfícies, pode concluir-se que os produtos (semi)permanentes AG2 e AG3 removeram eficazmente a tinta azul e moderadamente a tinta prateada, com uma maior eficácia de remoção no caso de sistemas com acabamentos acrílicos (E1 e E3). Apesar do produto permanente AG3 garantir uma proteção *anti-graffiti* mais duradoura e eficaz, a sua irreversibilidade e a alteração considerável das propriedades óticas (brilho e cor) e das propriedades de transporte de água (absorção de água por capilaridade e secagem) não pode ser considerado completamente compatível no caso dos provetes de base inorgânica (E2 e E4, acabamentos a base de cal e silicato). Finalmente, o produto sacrificial AG1 não garantiu uma remoção eficaz de nenhuma das tintas de aerossol e a sua utilização não é recomendável em ETICS.

Pode ser concluído que os produtos *anti-graffiti* parecem ser promissores no caso de sistemas com acabamento acrílico e isolamento térmico de EPS (E1) e, provavelmente, necessitam de ser ainda melhorados em relação à sua compatibilidade e eficácia em substratos inorgânicos (como no caso dos sistemas E2 e E4, com acabamentos à base de cal e de silicatos e uma camada de base de cal hidráulica natural). Além disso, no caso dos provetes E3, com isolante de lã mineral, é necessário considerar que este material é altamente hidrófilo e que pode reter uma quantidade notável de água, especialmente se associado à formação de microfissuras ou lacunas nas camadas de acabamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento do projeto WGB_Shield – _Proteção de fachadas de edifícios na revitalização das cidades. Tripla-resistência à água, ao *graffiti* e à biocolonização em sistemas de isolamento térmico pelo exterior (PTDC/ECI-EGC/30681/2017) e pela bolsa de doutoramento do João Parracha (2020.05180.BD). Agradece-se, também, às empresas CIN, Secil e Weber Saint-Gobain pelo fornecimento dos ETICS utilizados na campanha experimental, bem como às empresas NanoPhos e Sika para o fornecimento dos produtos *anti-graffiti*.

Referências

- [1] UE – European Union, “Directive (EU) 2018/844 of European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, *Official Journal of the European Union*, 2018.
- [2] Presidência do Conselho de Ministros, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021- Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios”, 3 fevereiro 2021, Lisboa.
- [3] APFAC (2018), “Manual ETICS”, APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS, 2018.
- [4] Barreira, E.; de Freitas, V. P., “External Thermal Insulation Composite Systems: Critical Parameters for Surface Hygrothermal Behaviour”, *Advances in Materials Science and Engineering*, 650752, 2014.
- [5] Pasker, R., “The European ETICS market - Do ETICS sufficiently contribute to meet political objectives?”, *4th European ETICS – Fórum, EAE – European Association for External Thermal Insulation Composite Systems*, 5 de outubro de 2017, Varsóvia, Polónia, 2017.

- [6] Leite, G. S., “SECIL – A Nova Construção”, *Associação Portuguesa de Tintas – Seminário*, 2015.
- [7] Veiga, M. R.; Malanho, S. “Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes”, *3º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*, APFAC, Lisboa, 2010.
- [8] Amaro, B., Saraiva, D., de Brito, J., Flores-Colen, I. “Statistical Survey of the Pathology, Diagnosis and Rehabilitation of ETICS in Walls”, *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 20(4), pp. 511-526, 2014.
- [9] Feltes, J. C., “Application and removal of graffiti on ETICS: influence on their water transport properties”, *Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil*, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2020.
- [10] Ribeiro, T., Dionísio, A.; Aires-Barros, L., “Aerosol-paint graffiti: the effects on calcareous stone”, *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 15(1), pp. 51-66, 2009.
- [11] Sanmartín, P.; Cappitelli, F.; Mitchell, R, “Current methods of graffiti removal: A review.” *Construction and Building Materials*, vol. 71, pp. 363-374, 2014.
- [12] Caiado, P., “Caracterização das propriedades superficiais de ETICS com graffiti e sua limpeza”, *Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil*, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2020.
- [13] Moura, A. R.; Flores-Colen, I.; de Brito, J., “Anti-graffiti products for porous surfaces. An overview”, *Hydrophobe VII | 7th International Conference on Water Repellent Treatment and Protective Surface Technology for Building Materials*, pp. 225-233, LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2014.
- [14] García, O.; Rz-Maribona, I.; Gardei, A.; Riedl, M.; Vanhellemont, Y.; Santarelli, M. L.; Suput, J. S., “Comparative study of the variation of the hydric properties and aspect of natural stone and brick after the application of 4 types of anti-graffiti”, *Materiales de Construcción*, vol. 60, 297, pp. 69-82, 2010.
- [15] Ricci, C.; Gambino, F.; Nervo, M.; Piccirillo, A.; Scarcella, A.; De Stefanis, A.; Pozo-Antonio, J. S., “Anti-Graffiti Coatings on Stones for Historical Buildings in Turin (NW Italy)”, *Coatings*, vol. 10(6), 582, 2020.
- [16] Gomes, V.; Dionísio, A.; Pozo-Antonio, J. S., “Conservation strategies against graffiti vandalism on Cultural Heritage stones: Protective coatings and cleaning methods”, *Progress in Organic Coatings*, vol. 113, pp. 90-109, 2017.
- [17] Lettieri, M.; Masieri, M., “Surface characterization and effectiveness evaluation of anti-graffiti coatings on highly porous stone materials”, *Applied Surface Science*, vol. 288, 2014.
- [18] Carmona-Quiroga, P. M.; Martínez-Ramírez, S.; Blanco-Varela, M. T., “Fluorinated anti-graffiti coating for natural stone”, *Materiales de Construcción*, vol. 58, pp. 233-246, 2008.
- [19] Boostani, H.; Modirrousta, S., “Review of Nanocoatings for Building Application”, *Procedia Engineering*, 145, pp. 1541-1548, 2016.
- [20] Elvira, M.R.; Mazo, M.A.; Tamayo, A.; Rubio, F.; Rubio, J.; Oteo, J.L., “Study and characterization of organically modified silica-zirconia anti-graffiti coatings obtained by sol-gel” *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 7, pp. 120-131, 2013.
- [20] Malaga, K.; Bengtsson, T., “The Nordic Method: Performance Tests for Protective Sacrificial Coatings on Mineral Surfaces”, *5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials*, 2008.
- [21] 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.
- [22] Roncon, R.; Borsoi, G.; Parracha, J.L.; Flores-Colen, I.; Veiga, R.; Nunes, L., “Impact of Water-Repellent Products on

the Moisture Transport Properties and Mould Susceptibility of External Thermal Insulation Composite Systems”, *Coatings*, vol. 11, 554, 2021.

[23] Parracha, J. L.; Borsoi, G.; Veiga, R.; Flores-Colen, I.; Nunes, L.; Garcia, A. R.; Ilharco, L. M.; Dionísio, A.; Faria, P., “Effects of hygrothermal, UV and SO₂ accelerated ageing on the durability of ETICS in urban environments”, *Building and Environment*, vol. 204, 108151, 2021.

[24] Rivas, T., Pozo, S., Fiorucci, M. P., López, A. J., Ramil, A. (2012) “Nd:YVO₄ laser removal of graffiti from granite. Influence of paint and rock properties on cleaning efficacy.” *Applied Surface Science*, 263, 563-572.

[25] Fiorucci, M. P., Lamas, J., Lopez, A. J., Rivas, T., and Ramil, A. (2011) “Laser cleaning of graffiti in Rosa Porrino granite.” *International Conference on Applications of Optics and Photonics*, 80014A.

[26] ASTM (2018), “Standard Practice for Determination of Graffiti Resistance”, *ASTM International*, *ASTM D6578/D6578M-13:2018*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2018.

[27] ASTM (2016), “Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates”, *ASTM International*, *ASTM D2244-16:2016*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2016.

[28] CIE S014-4/E (2007), “Colorimetry Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour Space”, *Commission*.

[29] EOTA (2019), European Assessment Document - EAD 040083-00-0404 “External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with renderings”, *EOTA - European Organization for Technical Approvals*, Brussels, Belgium, 2019.

[30] Roncon, R., “Comportamento de Produtos Hidrófugos em ETICS” _Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto.

[31] EN 16322 (2013), “Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties” *European Committee for Standardization (CEN)*, Brussels, 2013.

[32] Gaspar, P.; Hubbard, C.; McPhail, D; Cummings, A., “A topographical assessment and comparison of conservation cleaning treatments”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 4, 1, pp. 294-302, 2003.

[33] Carvalhão, M.; Dionísio, A., “Evaluation of mechanical soft-abrasive blasting and chemical cleaning methods on alkyd-paint graffiti made on calcareous stones”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 16(4), 2014.

[34] Lubelli, B.; van Hees, R.P.J.; van de Weert, T.G., “Effect of Anti-Graffiti Coatings on the Drying Behaviour of Building Materials”, *5th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials Aedificatio Publishers*, pp. 85- 94, 2008.