

CODE 2.2.11**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ACABAMENTO PARA REBOCOS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS****Remédios, Nuno^{1*}; Faria, Paulina²**1: Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa
e-mail: n.remedios@campus.fct.unl.pt2: Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa e CERIS, Universidade de Lisboa
e-mail: paulina.faria@fct.unl.pt**PALAVRAS-CHAVE:** Revestimento de parede, argamassa de cal, camada de acabamento, ensaio, transporte de água.**RESUMO**

O uso da cal na construção remonta há milhares de anos atrás. Existem inúmeras construções antigas que ainda apresentam alvenarias, revestimentos e acabamentos de paredes com cal. Os revestimentos e particularmente as camadas de acabamento são os elementos construtivos mais expostos das paredes e são, também, os elementos mais sujeitos a degradação. São também fundamentais para a aparência estética dos edifícios. Torna-se necessário aprofundar o conhecimento sobre a eficiência de diferentes sistemas de revestimento para paredes rebocadas de edifícios antigos, para garantir um bom desempenho geral.

O presente estudo tem como objetivo avaliar preliminarmente a adequação de revestimentos de paredes com acabamentos à base de cal aérea para aplicação sobre rebocos de alvenarias antigas, em comparação com sistemas de pintura com tintas correntes. A influência que diferentes tipos de revestimentos de paredes podem ter sobre o desempenho da parede é avaliada tendo em conta as observações e resultados de ensaios em provetes de laboratório: aparência visual (em termos de fissuras e textura), dureza superficial, capilaridade à água e permeabilidade ao vapor de água. O estudo destaca as vantagens e desvantagens estéticas e técnicas dos diferentes sistemas e modos de aplicação analisadas.

Conclui-se que a aplicação dos mesmos revestimentos de acabamento sobre a argamassa fresca ou seca ou a aplicação de diferentes sistemas de acabamento pode conferir ao sistema final de revestimento um comportamento distinto em relação ao transporte de água.

Alguns dos sistemas analisados apresentaram permeabilidade ao vapor de água muito menor que outros. Embora esses mesmos sistemas também registem um coeficiente capilar baixo, eles não são particularmente eficientes para aplicação em paredes antigas com alto teor de humidade, proveniente de ascensão capilar ou de outras fontes. A secagem mais rápida e maior permeabilidade ao vapor de água apresentada por alguns sistemas com camadas suplementares tem de ser aprofundadamente estudada.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos de paredes com base em cal aérea são utilizados desde há muito. Com o passar dos séculos, foi-se aperfeiçoando a técnica de trabalho com a cal, tendo surgido também vários tipos de acabamentos, tais como os barramentos e as caiações.

A cal caiu em desuso com o surgimento do cimento, um ligante com características muito diferentes e que permitia outro tipo de utilizações. No entanto, nas últimas décadas tem-se notado um interesse crescente pelo reconhecimento e aperfeiçoamento das técnicas e conhecimentos para trabalhar com a cal.

Uma adequada aplicação, com vista a um comportamento eficiente dos sistemas de paredes exteriores, é essencial na proteção dos edifícios contra os agentes de degradação [1]. Para que se garantam bons níveis de desempenho das fachadas, é necessário quantificar e avaliar as características que o satisfaçam, isto é, que os revestimentos possuam bom comportamento em serviço, desempenhando as funções que lhes são exigidas. Um dos principais agentes de degradação que contribui para a diminuição do desempenho dos rebocos é a água. É essencial que um sistema de revestimento de parede possibilite a evaporação da água que aceda à parede, para que esta não fique retida no seu interior [1]. A evaporação da água é avaliada pela permeabilidade ao vapor de água ou pela capacidade de secagem. A primeira destas características define-se como sendo o fluxo de vapor que atravessa a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor [2], enquanto a segunda pode definir-se pelas taxas de secagem relativas à primeira ou à segunda fases de secagem ocorridas.

Os sistemas de pintura são dos acabamentos mais correntes de rebocos, mesmo de rebocos de cal aérea. A tinta é definida como sendo uma composição pigmentada líquida ou pastosa que, quando aplicada sobre uma superfície (em alguns casos, após a diluição ou dispersão), se transforma, após algum tempo, num revestimento opaco sólido [3]. A aplicação das tintas é frequentemente precedida pelo emprego de um primário. Um sistema de pintura compreende todos os produtos (primário e pintura) que, de acordo com indicação do produtor, devem ser aplicados sequencialmente. As tintas de silicatos são baseadas num ligante inorgânico, geralmente silicato de potássio ou silicato de sódio [2]. O endurecimento destes compostos de silicato ocorre como um processo de silicificação que inclui reacções químicas com dióxido de carbono a partir do ar e com alguns componentes minerais do substrato (cal apagada ou de quartzo), conferindo-lhe uma grande durabilidade e permeabilidade ao vapor de água.

No presente estudo pretende-se apurar preliminarmente as características de distintos sistemas de acabamento aplicáveis em fachadas de edifícios antigos com rebocos com base em cal aérea, com o objetivo de avaliar quais as vantagens e os inconvenientes que apresentam como solução para a reabilitação deste tipo de fachadas. Na campanha experimental os acabamentos são aplicados sobre um reboco de cal aérea que, por sua vez, é aplicado sobre um ladrilho cerâmico simulando o suporte da parede. Desta forma, são caracterizados provetes de referência, constituídos apenas pelo ladrilho ou pelo ladrilho com reboco não revestido, e os resultados são comparados com provetes em que, sobre o reboco, foram aplicados os distintos sistemas de acabamento. Os ensaios de caracterização preliminar apresentados neste estudo são a observação visual, em termos de textura e fissuração, a dureza superficial, a absorção capilar pelo suporte, a secagem através da superfície e a permeabilidade ao vapor de água.

2. MATERIAIS, SISTEMAS E PROVETES

Para a realização dos provetes no presente estudo utilizou-se como material de suporte um ladrilho cerâmico de barro vermelho cozido, com dimensões de 150 mm x 150 mm x 12 mm, fabricado pela Cerâmica Torreense, simulando a parede de suporte. Os provetes apenas de ladrilho são designados por L. Para a constituição de todos os restantes provetes sobre os ladrilhos foi aplicada uma camada de argamassa de cal aérea, simulando o reboco, constituindo os provetes R. A argamassa de reboco aplicada sobre o ladrilho é pré-doseada, da SicalPor e constituída por cal aérea e uma areia fina de rio lavada. Para aplicação dos rebocos os ladrilhos cerâmicos foram mergulhados em água durante 24 h, tendo sido, de seguida, colocados num suporte por forma a escorrer a água em excesso. A argamassa foi aplicada sobre os ladrilhos numa camada com 15 mm de espessura, apertada com talocha plástica. Os acabamentos aplicados a fresco foram aplicados após 3,5 h de secagem da argamassa ao ar. Os acabamentos aplicados a seco foram aplicados ao fim de 12 dias de secagem da argamassa em ambiente interior.

Os acabamentos aplicados sobre o reboco foram:

- uma massa de estuque de cal, Ma, pré-doseada, comercializada pela empresa Fradical, constituída por cal aérea não hidrófuga em pasta, areia fina e pó de mármore, com um traço em volume de 1:0,5 (Ma:água), a rolo, resultando numa textura rugosa, areada; este acabamento foi aplicado a fresco e a seco;

- uma massa especial de barramento, B, pré-doseada, comercializada pela empresa Fradical, constituída por cal aérea não hidrófuga em pasta e pó de pedra, aplicada à brocha em três demãos, variando em cada uma delas a diluição do produto na água e o sentido de aplicação (cada uma aplicada perpendicularmente à anterior); a primeira demão apresentou um traço de 1:3 (B:água), a segunda, por sua vez, um traço de 1:2 e a última um traço de 1:1, todos em volume; as demãos foram aplicadas com um intervalo de 30 minutos entre cada uma; resultou um acabamento com textura lisa; este acabamento foi aplicado a fresco e a seco;

- um sistema de pintura com tinta de silicatos, U6-Silicatus - Tinta Orgânica Mate Mineral, de acordo com o fabricante constituída por silicatos de potássio, polímeros orgânicos e pigmentos inorgânicos de grande solidez; a quantidade de componente orgânico é inferior a 5% em peso de acordo com a norma DIN 18363; foi aplicada à brocha, de acordo com a sua ficha técnica: o primário Silicatus A7 confere uma regulação da absorção da água, aderência e protege a tinta do contacto directo com substâncias prejudiciais do sistema base; posteriormente foi aplicada a tinta Silicatus apenas numa demão, tendo esta sido diluída em 10% de água (100ml de tinta para 10ml de água); este acabamento só foi aplicado a seco;

- um sistemas de pintura com tinta corrente plástica, B10-Neucegold, de acordo com o fabricante uma Tinta Plástica Acrílica Pura, 100% acrílica; foi aplicada a rolo: uma primeira demão de primário aquoso Barboprimer diluído em 10% de água (140ml de primário para 14ml de água); posteriormente foi aplicada a tinta Neucegold, tendo esta a mesma diluição que o primário; este acabamento só foi aplicado a seco.

Após aplicação dos acabamentos os provetes foram acondicionados em ambiente controlado com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de humidade relativa (HR). Todos os provetes permaneceram na sala condicionada até ao início dos ensaios, que decorreu ao fim de um mínimo de 40 dias.

Na tabela 1 apresenta-se a designação e constituição sumária dos sistemas ensaiados.

Tabela 1: Designação e constituição dos provetes

Provetes	Ladrilho cerâmico	Reboco fresco (Rf)	Reboco seco (Rs)	Massa de estuque de cal areada (Ma)	Massa especial de Barramento (B)	Tinta Plástica (Tp)	Tinta de Silicato (Ts)
				Aplicado a rolo	Aplicado à brocha	Aplicado a rolo	Aplicado à brocha
L	X						
R	X		X				
RsMa	X		X	X			
RfMa	X	X		X			
RsTs	X		X				X
RsTp	X		X			X	
RsB	X		X		X		
RfB	X	X			X		

3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS

Análise visual a olho nu e à lupa binocular

Todos os provetes foram submetidos a uma análise visual a olho nu. Foram também observados com lupa binocular, permitindo esta um aumento de 25 vezes, por forma a verificar a ocorrência de fissuras na argamassa ou nos sistemas de acabamento.

Resistência superficial

Para a realização deste ensaio utilizou-se, em toda a amostragem, um Durometro Shore A, estando este de acordo com as normas DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 7619 e ISO 868.

Foram medidos 9 pontos por provete, considerando-se a dureza de cada sistema a média dos valores dos provetes do mesmo sistema.

Absorção capilar pelo suporte

O ensaio de capilaridade foi baseado na norma EN 15801. Pretendeu-se simular absorção de água a partir do suporte, neste caso do ladrilho mas que numa situação real seria a parede, com problemas de humidade. Este ensaio foi realizado com recurso a uma balança na qual estava suspenso um cesto de rede, no qual foram colocados sucessivamente um provete de cada sistema, com o ladrilho em baixo. O cesto com o provete, por sua vez, estava dentro de uma caixa com água até meia altura do ladrilho.

Cada provete foi pesado seco antes de ser colocado no cesto de rede e foi sujeito a uma pesagem contínua durante 13 h, tendo sido registados os valores ininterruptamente através do auxílio de uma câmara de filmar. Ao fim deste tempo, o provete foi retirado do cesto e colocado numa caixa fechada, mantendo-se o contacto com água até metade da espessura do ladrilho; o provete foi mantido em saturação por um período mínimo de 48 h. Os resultados são expressos através das curvas de absorção capilar, a partir das quais se determinam os coeficientes de capilaridade dos diferentes sistemas: declive da recta de absorção capilar inicial representativa. Permitem ainda comparar a quantidade total de água absorvida ao fim de determinado período de tempo. Esta obviamente depende da espessura dos provetes de cada sistema mas não sofreu grande variação entre sistemas (excepto no caso do provete apenas constituído por ladrilho, menos espesso e por isso não comparável com os restantes).

Capacidade de secagem

Todo o ensaio foi realizado de acordo com a norma EN 16322. Este ensaio consiste em deixar o provete secar livremente num ambiente controlado e monitorizar a sua perda de humidade através da perda de massa. O resultado é expresso pelas curvas de evaporação, que mostram a variação do teor de humidade por área, ao longo do tempo (ilustrando bem a primeira fase de secagem) ou ao longo de raiz do tempo (ilustrando bem a segunda fase de secagem).

O ensaio foi realizado a um provete de cada sistema. Os provetes foram retirados da caixa de saturação, tendo sido retirada a água em excesso da base de cada provete através de papel absorvente. A base do ladrilho foi selada com um filme de polietileno, mantido com elásticos, garantindo, assim, que a secagem se realizasse apenas pela face do acabamento. Os provetes foram pesados e colocados a secar na sala condicionada a $20\pm 2^\circ\text{C}$ e a $65\pm 5\%$ de HR. Foram realizadas pesagens dos provetes de hora a hora durante as primeiras 8 h, tendo sido as seguintes pesagens realizadas de 24h em 24h.

Os resultados são expressos através das curvas de evaporação, a partir das quais se determinam as taxas de secagem relativas à primeira e segunda fases de secagem, respectivamente D1 (em $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$) e D2 (em $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\sqrt{\text{h}})$).

Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi baseado na norma EN 15803 para o método da cápsula húmida. Como os provetes tinham área de 150 mm x 150 mm foram utilizadas caixas plásticas com dimensões 190 x 190 x 130mm, por forma a permitir que os provetes encaixassem sobre as tampas. Todos os restantes procedimentos foram realizados de acordo com as exigências da norma. Foi definida uma secção útil de 130 x 130mm no provete, tendo sido impermeabilizados, com cera líquida, as faces laterais e 10 mm em todo o perímetro da face do provete. Na tampa das caixas plásticas foi recortada uma secção de 130 x 130mm. Posteriormente, o provete foi colado à tampa das caixas plásticas com mastique resistente à humidade, de modo a impedir a passagem de ar. Estas caixas foram cheias até cerca de 1/3 da sua capacidade com água e algodão. Este último serviu apenas para evitar a deslocação da água dentro da caixa durante as pesagens consecutivas. Por fim, a caixa foi fechada e selada novamente com mastique, de modo a ser criado um ambiente estanque e saturado no seu interior.

Os sistemas caixa-provete foram pesados e colocados numa câmara condicionada com $23\pm 1^\circ\text{C}$ e $50\pm 3\%$ de HR. A diferença de HR dentro da câmara climática e dentro das caixas dos provetes, permite um fluxo migratório de vapor de água através das amostras. Depois do provete estabilizar por um período de 48h, tiveram início as medições (pesagens) periódicas de 24h em 24h.

Os resultados do ensaio realizado apenas a um provete de cada sistema foram expressos em permeabilidade ao vapor de água, δ_p (em kg/(m.s.Pa)), através da equação 1,

$$\delta_p = \frac{G \cdot D}{A \cdot \Delta p_v} \quad (1)$$

onde G (kg/s) é a taxa de fluxo do vapor de água, que flui através do provete; D (m) é a espessura da amostra, A (m²) é a área de superfície de ensaio e Δp_v (Pa) é a diferença da pressão do vapor de água em toda a amostra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os acabamentos apresentaram uma textura rugosa, excepto os acabamentos com massa especial de barramento B. Na figura 1 apresentam-se exemplos das fissuras detectadas nos provetes a partir da observação com lupa binocular.

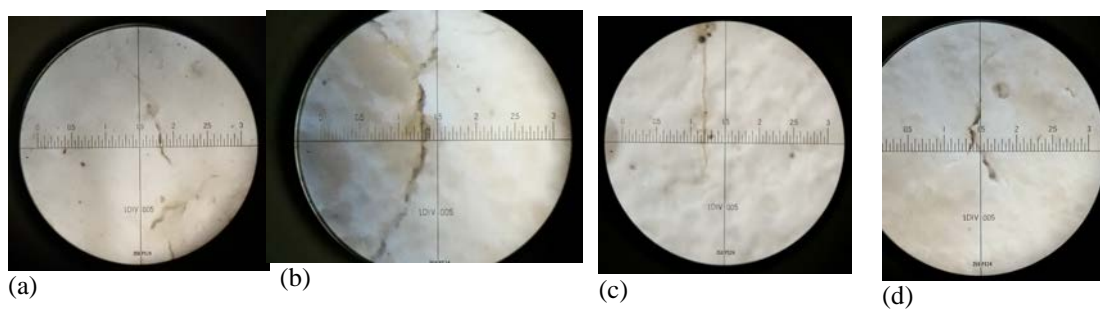


Figura 1: Microfissuração ocorrida nas superfícies de acabamento: (a) provete RsMa - microfissura com 0,05 mm; (b) provete RsMa - microfissura com 0,1 mm; (c) provete RfMa - microfissura com 0,05 mm; (d) provete RfMa - microfissura com 0,05 mm

Apenas se detetou microfissuração nos provetes cujo acabamento possui areia fina – sistema de acabamento com massa de estuque de cal areada Ma.

A figura 2 apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade, a partir do ladrilho. A figura 3 apresenta as curvas de secagem, em termos de tempo ou de raiz do tempo, através da superfície dos sistemas de acabamento. A tabela 2 apresenta o valor médio e desvio padrão da dureza superficial, o coeficiente de capilaridade, as taxas de secagem na 1ª e 2ª fases (D1 e D2) de secagem e a permeabilidade ao vapor de água de cada sistema de acabamento.

Tabela 2: Dureza superficial, coeficiente de capilaridade, taxas de secagem na 1ª e 2ª fases de secagem e permeabilidade ao vapor de água

Provetes	Dureza superficial [Shore A]		Coeficiente de absorção capilar CC [kg/(m ² .s ^{1/2})]	Taxa de secagem 1ª fase D1 [kg/(m ² .h)]	Taxa de secagem 2ª fase D2 [kg/(m ² .h ^{1/2})]	Permeabilidade ao vapor de água δ_p [kg/(m.s.Pa)]
	Média	DsvPad				
L	95,9	0,1	0,11	0,05	0,15	1,52E-12
R	83,2	0,9	0,12	0,05	0,33	2,33E-12
RsMa	78,6	1,9	0,17	0,06	0,37	2,97E-12
RfMa	79,9	0,7	0,21	0,05	0,32	3,30E-12
RsTs	88,0	0,8	0,05	0,04	0,28	1,89E-12
RsTp	87,3	0,9	0,05	0,02	0,19	1,98E-12
RsB	92,8	0,3	0,05	0,02	0,20	1,59E-12
RfB	86,6	0,7	0,18	0,02	-	2,90E-12

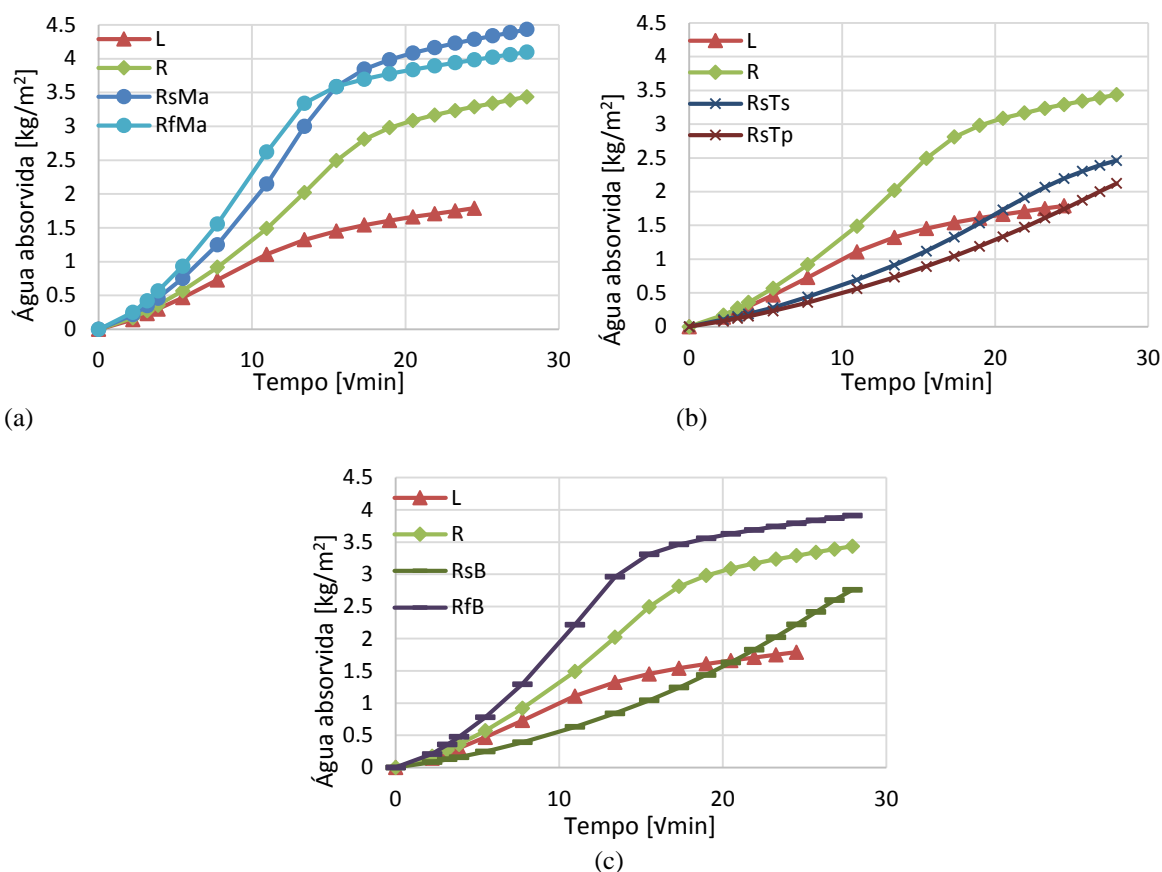


Figura 2: Curvas de absorção capilar a partir do ladrilho, comparativamente às referências: (a) provetes com massa areada sobre reboco seco e fresco, RsMa e RfMa; (b) provetes com pinturas de tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, RsTs e RsTp; (c) provetes com barramento sobre reboco seco e fresco, RsB e RfB

A figura 4 apresenta uma comparação visual entre as taxas de secagem das fases de secagem 1 e 2 e o coeficiente de capilaridade.

A dureza superficial apenas do ladrilho é superior a todos os sistemas de revestimento. Os acabamentos com massa areada apresentam dureza superficial ligeiramente inferior ao reboco sem acabamento. Os sistemas de pintura e os barramentos registam dureza um pouco superior, tendo o acabamento com barramento sobre reboco seco dureza que se aproxima da do ladrilho não revestido.

Relativamente à absorção capilar sobressai o facto dos sistemas de pintura contribuírem para a redução do coeficiente de capilaridade e para uma menor quantidade de água absorvida ao fim de 13 h de ensaio. Pelo contrário, os sistemas de acabamentos aplicados sobre o reboco fresco contribuem para mais elevados coeficientes de capilaridade, embora as quantidades de água absorvidas ao fim de 13 h de ensaio sejam semelhantes aos mesmo sistemas aplicados sobre reboco seco.

Quanto à taxa na primeira fase de secagem verifica-se que todos os sistemas apresentam valores semelhantes ao ladrilho e ao ladrilho apenas com reboco, excepto os sistemas com acabamento com pintura com tinta plástica e com barramento, nos quais a secagem se processa muito mais lentamente. Relativamente à taxa na segunda fase de secagem (que não se atingiu no sistema de barramento sobre reboco fresco ao fim de 9 dias) verifica-se que todos os sistemas apresentam valores superiores ao ladrilho não revestido, sendo no caso dos sistemas com massa areada aplicada sobre o rebocos superiores ao sistema de reboco não revestido quando aplicada a seco e semelhante quando aplicada a fresco. No caso da tinta de silicatos existe redução face ao reboco simples mas essa redução é maior no caso do barramento aplicado a seco e principalmente no caso do acabamento com tinta plástica.

Os resultados da permeabilidade ao vapor de água apresentam uma tendência muito semelhante à do coeficiente de capilaridade, com permeabilidade crescente do ladrilho para o reboco simples, e deste para a massa areada aplicada a seco, com valor semelhante ao barramento aplicado a fresco. A permeabilidade mais elevada é registada para a massa areada aplicada a fresco. Ambos os sistemas de pintura e o barramento aplicado a seco, que tinham registado os menores coeficientes de capilaridade, apresentam, no entanto, também as menores permeabilidades ao vapor de água.

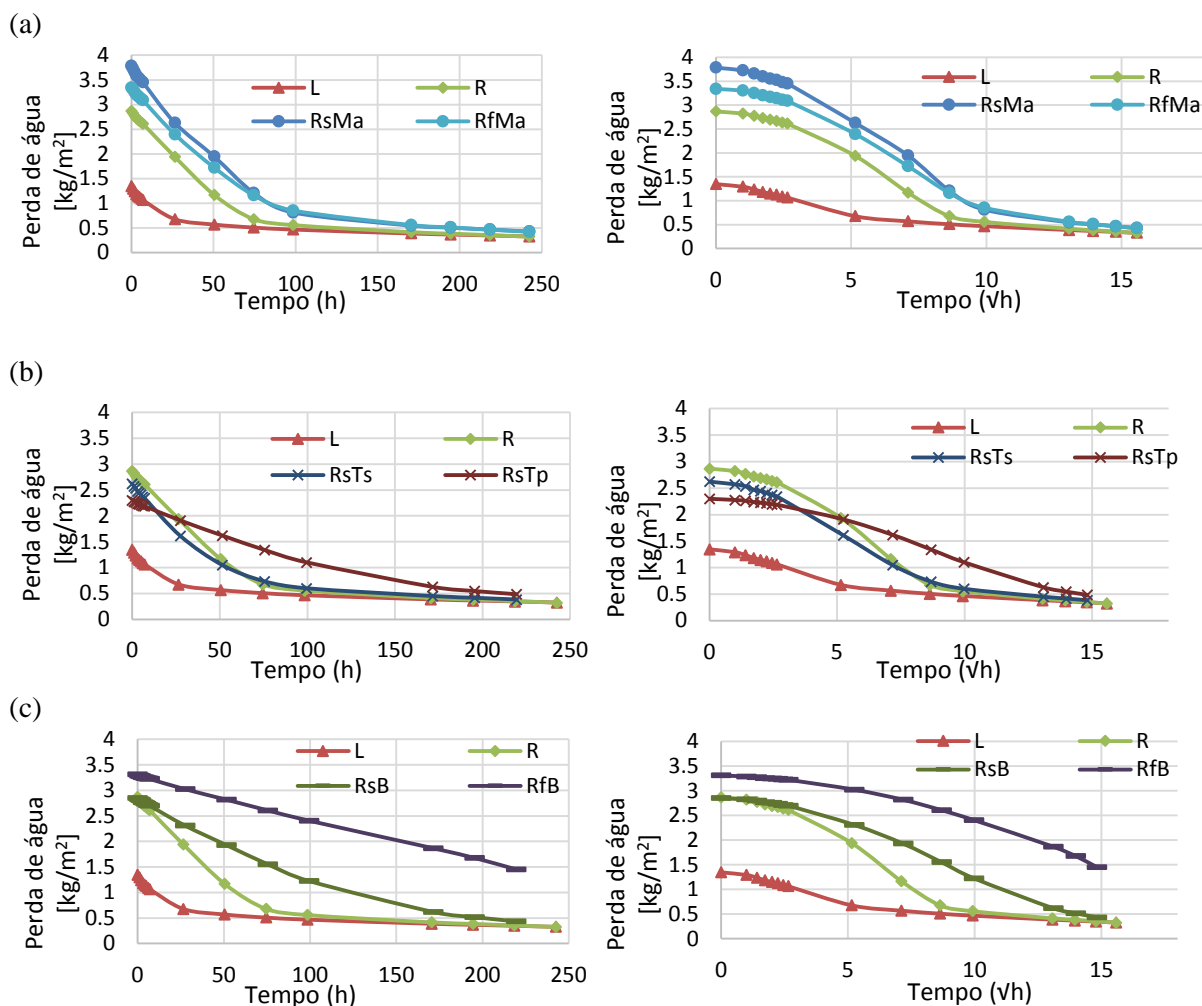


Figura 3: Curvas de secagem em ordem ao tempo (esquerda) e à raiz quadrada do tempo (direita), comparativamente às referências: (a) provetes com massa areada sobre reboco seco e fresco, RsMa e RfMa; (b) provetes com pintura com tintas de silicatos e plástica sobre reboco seco, RsTs e RsTp; (c) povetes com barramento sobre reboco seco e fresco, RsB e RfB

Salientam-se os resultados obtidos para o sistema de reboco sobre ladrilho comparativamente ao ladrilho simples e comparativamente a sistemas complementares aplicados sobre o reboco. Com efeito, quer em termos de capilaridade a partir da base, quer de secagem ou permeabilidade ao vapor, os sistemas compostos apresentam valores quer superiores, quer inferiores. Isto mostra a grande influência que sistemas de acabamento distintos podem ter no transporte de humidade e sua retenção dentro das alvenarias.

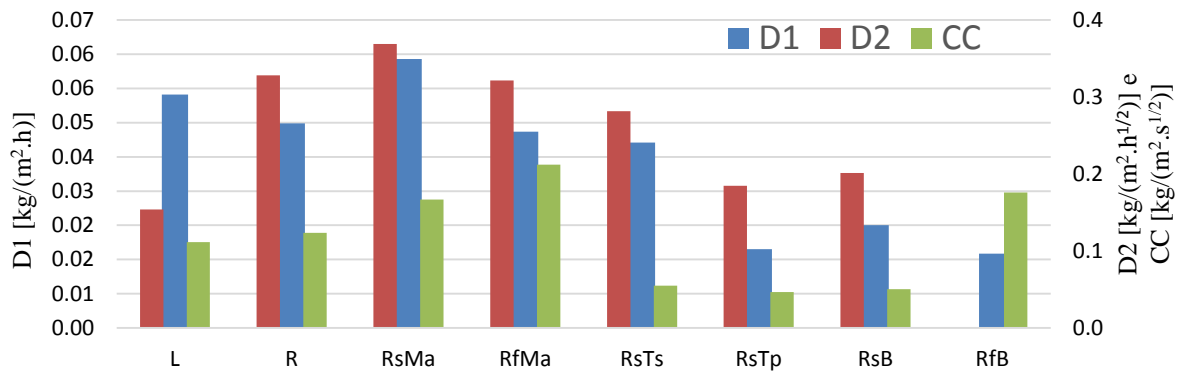


Figura 4: Taxas de secagem na fase 1 (D1) e 2 (D2) de secagem e coeficiente de absorção capilar

5. CONCLUSÕES

Do ponto de vista da dureza superficial, todos os acabamentos apresentam resultados semelhantes e considerados adequados. Relativamente à fissuração, esta apenas foi detectada nos sistemas com massa areada aplicada sobre o reboco seco ou fresco; não foi detectada qualquer fissuração nos restantes sistemas.

Os resultados de todos os ensaios relativos ao comportamento face à água têm ainda de ser confirmados por repetição, uma vez que resultam apenas, nesta fase preliminar, do ensaio de um provete por sistema. No entanto, no caso dos acabamentos com aplicação de massa areada ou com barramento liso a diferença de comportamento entre as aplicações é mais positiva para as aplicações a seco, com menor coeficiente de capilaridade a partir do suporte e mais elevadas taxas de secagem. Entre os sistemas de pintura o com tinta de silicatos apresenta-se como mais vantajoso comparativamente ao com tinta plástica.

A redução do coeficiente de capilaridade registada para os acabamentos por pintura e com barramento aplicado a seco pode ser justificada pelo efeito de tamponamento à dissipação de vapor de água provocado pelos acabamentos respetivos, devida à sua possível menor porosimetria. Esta menor porosimetria, por sua vez, pode dificultar a dissipação do vapor de água.

Em paredes com problemas de ascensão capilar a dissipação da humidade pela superfície é particularmente importante. Por isso, sistemas de acabamento com maiores taxas de secagem e menores coeficientes de capilaridade constituirão à partida soluções particularmente positivas para aplicação em paredes com problemas de ascensão capilar ou na envolvente de espaços com elevada produção de vapor de água, uma vez que nesses casos a humidade terá maior facilidade em dissipar-se na forma de vapor.

A caracterização vai assim continuar tanto em termos de repetibilidade para confirmação das tendências encontradas e sua justificação, como ao nível de caracterização complementar, nomeadamente em termos de absorção de água sob baixa pressão a partir da superfície e coesão superficial.

6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se à empresa Fradical pela disponibilização dos materiais utilizados neste estudo e o apoio laboratorial do Eng. Vítor Silva.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Veiga, M. R. (1998), “Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação”, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Teses e programas de investigação do LNEC, 458 p.

- [2] Brito V.;Gonçalves T.D.; Faria P. (2011), Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport. *J. Coat. Technol. Res.*, 8 (4), 513-525.
- [3] Stoye, D.; Freitag, W. (eds.), *Paints, Coatings and Solvents*. Wiley-VCH, Weinheim, 1998.