

Desenvolvimento de argamassas para a reabilitação de edifícios antigos. Parte 2 – Comportamento à água



Joana Faria
Dep. Eng^a Civil - U.Minho
Portugal
joanaffaria@gmail.com



F. Pacheco Torgal
C-TAC – U.Minho
Portugal
torgal@civil.uminho.pt



Said Jalali
C-TAC – U.Minho
Portugal
said@civil.uminho.pt

Resumo: No presente artigo procede-se à apresentação de resultados sobre o comportamento à água (absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor de água) de argamassas à base de cal aérea e pozolanas (com alguns aditivos) destinadas à reabilitação de edifícios, cujas características mecânicas foram analisadas na Parte 1. A generalidade das argamassas estudadas apresentam uma absorção de água por capilaridade superior aos valores recomendados, com exceção da argamassa de cal e metacaulino ao traço 1:5. Já a permeabilidade ao vapor de água das argamassas com o melhor desempenho mecânico revelou que a composição com cal e metacaulino ao traço 1:7 apresenta um bom desempenho.

Palavras-chave: Argamassas de reabilitação, cal aérea, pozolanas, absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor de água

1. INTRODUÇÃO

A preservação do património edificado Português é impreterível devido à importância que este assume no contexto da identidade de um país com oito séculos de história mas também por motivos económicos ligados ao subsector Turismo [1].

As argamassas de reabilitação/substituição nas últimas décadas têm vindo a assumir um papel de especial relevância dada a crescente necessidade de reabilitação do património edificado. No contexto da reabilitação do património edificado o aparecimento do cimento Portland propiciou o abandono das argamassas tradicionais à base de cal aérea por se constituir como um ligante capaz de conferir às argamassas de reboco resistências mecânicas mais elevadas e pelo baixo tempo de presa o que permitia a realização dos

trabalhos em prazos relativamente mais curtos. Contudo as argamassas contendo como ligante somente o cimento Portland não constituem a solução mais adequada para as intervenções de reabilitação, devido aos inconvenientes que lhe estão normalmente associadas, nomeadamente o elevado módulo de elasticidade que se traduz na incapacidade de acomodar deformações dos suportes, na baixa permeabilidade ao vapor de água e pela introdução de sais solúveis, para além da incompatibilidade química com as argamassas à base de cal [2]. O lento processo de carbonatação da cal não proporciona o encorajamento da sua utilização [3]. A utilização de argamassas de cal aérea numa obra de recuperação no Norte de Portugal, necessitou de 13 meses para a aplicação de três camadas e o seu endurecimento [4].

Neste contexto o estudo de argamassas tradicionais de cal aérea para a reabilitação de edifícios antigos adquire uma nova dinâmica em virtude de se constituírem como a solução mais adequada em intervenções de reabilitação em edifícios antigos. A par do interesse pelas argamassas à base de cal tem vindo também a ressurgir o interesse pelo uso das pozolanas com o objectivo de ultrapassar o elevado tempo de endurecimento, mas também pelo incremento das resistências mecânicas [2]. Alguns estudos recentes revelam a utilização de argamassas bastardas com recurso à substituição de parte do cimento por cal, contudo as argamassas à base de cal são as que apresentam maior compatibilidade com o suporte [5]. Apesar das argamassas tradicionais corresponderem à solução mais adequada alguns autores referem que a utilização de quantidades mínimas de cimento *Portland* em argamassas de cal pode não representar uma solução tão desadequada desde que as argamassas de reabilitação não estejam expostas a ambientes com elevada humidade relativa [1]. Também Elpida-Chrissy et al. [6] referem a utilização do cimento Portland como forma de assegurar os valores mínimos de resistência num período de tempo mais curto. Anteriormente outros autores tinham defendido a mesma posição [7-9], pelo que se pode aceitar a utilização de quantidades mínimas de cimento em intervenções com pouco valor histórico ou em zonas com baixas humidades relativas. Apesar das argamassa bastardas não corresponderem à solução mais adequada para a reabilitação de edifícios antigos, a falta de qualificação técnica dos Operários em Portugal, no âmbito da aplicação de argamassas à base de cal, e de cal e pozolanas traduzem-se num obstáculo para a utilização destas argamassas. Isto porque actualmente, os Operários desconhecem este tipo de materiais, e a sua incorrecta utilização e execução na prática da reabilitação dos edifícios pode constituir-se como mais um factor de degradação das argamassas de edifícios antigos [1]. As argamassas comerciais pré-doseadas parecem constituir uma alternativa em relação às argamassas tradicionais com pozolanas ou argamassas tradicionais bastardas, porém desvantagens como apenas se conhecerem as características fornecidas pelos fabricantes (desconhecendo-se por exemplo adições que entram na sua composição), pela maioria destas argamassas excederem os valores recomendados para o desempenho mecânico e o elevado custo são factores dissuasores para os projectistas e donos de obra [1]. Inevitavelmente tornam-se necessárias investigações que permitam a obtenção de argamassas de reabilitação, que não apresentem nenhuns dos inconvenientes das argamassas comerciais. O presente artigo tem como objectivo avaliar várias composições à base de cal aérea e pozolanas (metacaulino, cinzas volantes e pó de pasta cerâmica), em termos da sua aptidão para serem utilizadas na reabilitação de edifícios antigos, comparando-se o seu desempenho com o de uma argamassa comercial. A parte I incide sobre a trabalhabilidade e o comportamento mecânico.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais, composição e fabrico das argamassas

Na formulação das argamassas utilizou-se uma areia fina em todas as composições cujas propriedades se apresentam no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades da areia

Propriedade	Valor
Massa volúmica do material impermeável das partículas (g/cm^3)	3
Massa volúmica das partículas saturadas (g/cm^3)	2,9
Massa volúmica das partículas secas (g/cm^3)	2,9
Absorção de água (%)	1,23

Na composição das formulações utilizaram-se três pozolanas: metacaulino (MK), cinzas volantes (CV) e pó de pasta cerâmica (PPC) cujo Índice de Actividade foi já analisado na Parte 1 do presente artigo.

No presente trabalho foram estudadas onze composições de argamassas e uma argamassa comercial que é segundo o fabricante destinada à aplicação para o saneamento de edifícios degradados pela humidade causada pela ascensão capilar e pela acção de sais sulfatados. As onze composições estudadas podem ser divididas em três grupos:

- Composições com 10% de ligante e 90% de areia
- Composições com 15% de ligante e 85% de areia
- Composições com 20% de ligante e 80% de areia

O ligante é composto por cal hidratada em pó, pozolanas (metacaulino, cinzas volantes e pó de pasta cerâmica) e o aditivo I (cimento branco 32,5 R) para nove das composições em estudo. Em duas composições o ligante é constituído pelos mesmos materiais descritos anteriormente e pelo aditivo II. No Quadro 2 apresenta-se um resumo das percentagens dos constituintes do ligante das composições formuladas.

Quadro 2 - Resumo das percentagens dos constituintes das composições

10% de ligante			15% de ligante			20% de ligante		
5%		5%	10%		5%	15%		5%
Cal	Poz.	Aditivo I	Cal	Poz.	Aditivo I	Cal	Poz.	Aditivo I
25%	75%	5%	25%	75%	5%	25%	75%	5%

No caso das composições com a incorporação do aditivo II a sua formulação corresponde a percentagens de 15% e 20% de ligante, sendo a única diferença a substituição de 5% na quantidade total de pozolana pelo aditivo II (um polímero fornecido pela DIERA que contribui para o aumento da aderência). O denominador comum em todas as formulações em estudo é a areia utilizada e as percentagens de ligante incorporado, isto é, a quantidade de cada um dos materiais corresponde sempre à mesma percentagem em proporção à percentagem total de ligante na mistura. Assim, as variáveis em análise correspondem à influência do traço, da pozolana utilizada e da quantidade de água nas características

mecânicas e físicas nas composições em estudo. No Quadro 3 apresenta-se o resumo da constituição do ligante de todas as composições em estudo. A quantidade de água utilizada em cada composição é diferente, para determinar qual a quantidade de água a acrescentar a cada mistura efectua-se o ensaio de espalhamento de acordo com a Norma BS EN 1015-3:1999. No caso da argamassa comercial a quantidade de água a acrescentar à mistura é fornecida pelo fabricante, neste trabalho adoptou-se as prescrições do fabricante, realizando posteriormente o ensaio de espalhamento. Para a realização dos ensaios foram produzidos provetes 40 x 40 x 160mm para os ensaios de determinação da resistência à flexão e à compressão e absorção de água por capilaridade. Para o ensaio da permeabilidade ao vapor de água foram produzidos provetes em forma de disco com 175mm de diâmetro. Por fim, para determinar a tensão de arrancamento procedeu-se à aplicação das composições como camadas de reboco em blocos.

Quadro 3 – Resumo das composições em estudo

Traços	Comp.	Cal aérea + Aditivo I	Metac.	Cinzas Vol.	Pó de pasta cerâm.	Aditivo II	Design.
Traço 1:10	Comp. 1	x	x				1:10 MK
	Comp. 2	x		x			1:10 CV
	Comp. 3	x			x		1:10 PPC
Traço 1:7	Comp. 4	x	x				1:7 MK
	Comp. 5	x		x			1:7 CV
	Comp. 6	x			x		1:7 PPC
	Comp. 7	x	x			x	1:7MK_ADI
Traço 1:5	Comp. 8	x	x				1:5 MK
	Comp. 9	x		x			1:5 CV
	Comp. 10	x			x		1:5 PPC
	Comp. 11	x			x	x	1:5PPC_AD I

2.2 Técnicas Experimentais

2.2.1 Absorção de água por capilaridade

A determinação da absorção de água por capilaridade realizou-se de acordo com a Norma EN 1015-18:2002. O ensaio realizou-se aos 28 e aos 56 dias de idade sendo produzidos três provetes para cada uma das idades. O ensaio caracteriza-se pela colocação dos meios

provetes prismáticos com as faces laterais isoladas com parafina dentro de uma caixa fechada com uma altura de água de 10mm durante 30 dias. O ensaio permitiu determinar o coeficiente de capilaridade e o valor assíntótico para cada composição

2.2.2 Permeabilidade ao vapor de água

A determinação da permeabilidade ao vapor de água realizou-se de acordo com o ensaio preconizado pela Norma 1015-19:2000. Para a realização do ensaio produziram-se provetes em forma de disco com espessura de 15mm e 175mm de diâmetro. Após a moldagem dos provetes, estes são deixados em ambiente de laboratório durante 12h, posteriormente, colocam-se durante cinco dias, dentro de sacos plásticos hermeticamente fechados, na câmara húmida à temperatura de 21 °C, aproximadamente. Decorridos os primeiros cinco dias do tempo de cura retiram-se os provetes dos sacos plásticos, conforme especificado, permanecendo na câmara húmida durante 23 dias até à data de ensaio, à temperatura de 22 °C e 91% de humidade relativa. Na realização do ensaio foram utilizados copos circulares para posteriormente colocar os provetes cilíndricos a ensaiar, devidamente selados na abertura dos copos, para que a pressão do vapor de água no interior dos copos (que é constante por meio de uma solução salina saturada) seja diferente da existente no exterior. Os copos de ensaio são mantidos em ambiente condicionado para que a temperatura ambiente e a pressão do vapor de água sejam constantes no exterior dos copos de ensaio. A determinação da permeabilidade ao vapor de água realiza-se através das pesagens dos copos de ensaio. No presente trabalho adopta-se por pesagens consecutivas de 24h em 24h (foram realizadas pesagens nas primeiras 6 horas de ensaio de hora em hora não se verificando alterações significativa do seu peso) até as condições estabilizarem, isto é, até ser possível colocar três pontos sobre um linha recta no gráfico que exprime a relação entre a massa do copo de ensaio e o tempo. O ensaio foi realizado para o intervalo higroscópico superior, utilizando a solução saturada de nitrato de potássio que fornece uma humidade relativa de 93,2% à temperatura de, aproximadamente, 20 °C. Na Figura 1 apresentam-se os copos de ensaio no final do procedimento experimental, demonstrando que todos os provetes estavam devidamente selados, isto é, não ocorreu formação de sais.



Figura 1 - Copos de ensaio no final do ensaio de permeabilidade ao vapor de água

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Absorção de água por capilaridade

O coeficiente de absorção de água por capilaridade foi obtido pela representação gráfica preconizada pela Especificação do LNEC E393. Os coeficientes de capilaridade são

determinados graficamente, para os primeiros instantes do ensaio, através do traçado da quantidade de água absorvida por unidade de área da base do provete (Kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo (h), denominando-se por curva de absorção capilar [10]. O coeficiente de capilaridade corresponde ao declive da linha tendência que melhor se ajusta à curva de absorção capilar. No Quadro 4 apresentam-se os valores dos coeficientes dos coeficientes da capilaridade (Kc), o valor assintótico (V.A.) e o valor de R^2 obtidos a partir das curvas de absorção capilar.

Quadro 4 - Valores médios dos coeficientes de absorção capilar

Composições	Idade (dias)	Coefficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$)	Valor assintótico (kg/m^2)	R^2
Argamassa comercial	28	6,60	13,8	0,8341
	56	5,00	14,4	0,8639
1:5MK	28	12,78	23,0	0,996
	56	14,31	22,8	0,998
1:7MK	28	19,96	21,7	0,9849
	56	20,14	22,1	0,9861
1:10MK	28	24,36	23,7	0,9893
	56	25,67	22,0	0,9990
1:5CV	28	18,66	20,8	0,9985
	56	19,37	21,4	0,9697
1:7CV	28	18,41	20,8	0,9717
	56	17,07	19,6	0,9249
1:10CV	28	25,08	20,5	0,9581
	56	24,28	21,7	0,9654
1:5PPC	28	17,89	20,6	0,9932
	56	18,39	20,6	0,9894
1:7PPC	28	17,28	19,6	0,9651
	56	18,10	20,8	0,9566
1:10PPC	28	24,07	19,9	0,9885
	56	25,69	21,5	0,9893

Os valores recomendados para os coeficientes de capilaridade das argamassas de substituição variam entre as 8 e os 12 Kg/m².h^{0,5} (entre 1 e 1,5 Kg/m².min^{0,5}) [11]. Da análise do Quadro 4 conclui-se que, à exceção da argamassa comercial, os coeficientes de capilaridade de todas as composições são superiores ao valor de referência de 12 Kg/m².h^{0,5}. No entanto, considera-se os valores dos coeficientes de capilaridade da composição 1:5MK são próximos do valor de referência, pelo que se considera aceitáveis os resultados obtidos. Os valores dos coeficientes das restantes composições apresentam valores superiores entre 17% a 50% em relação ao valor máximo do valor de referência. No gráfico da Figura 2 apresentam-se os valores assintóticos que representam a quantidade total de água absorvida por capilaridade.

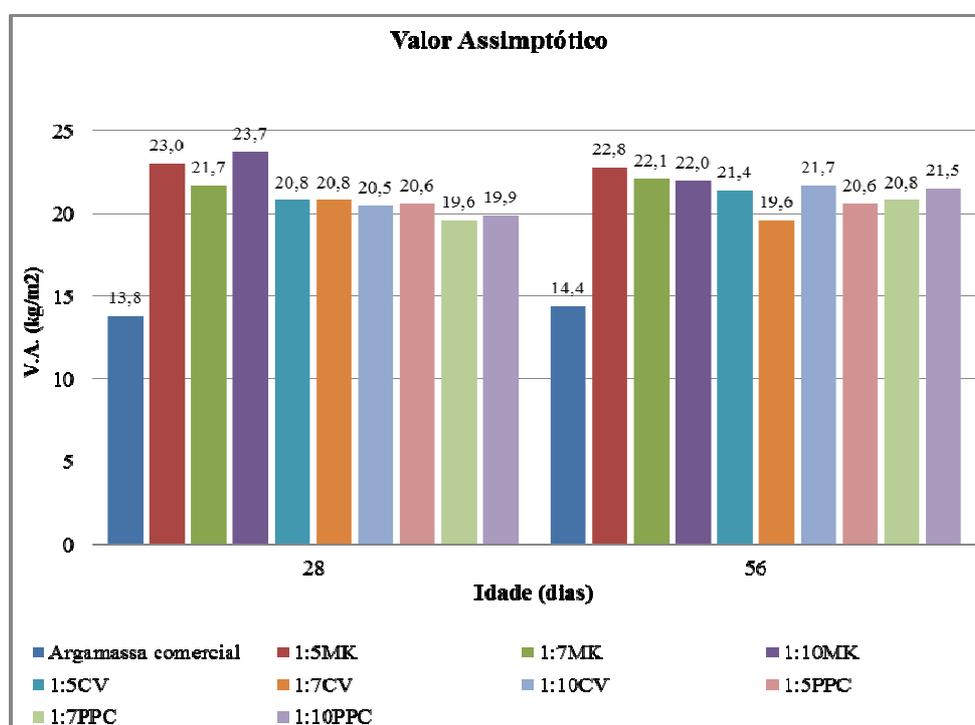


Figura 2 – Valores assintóticos

Pela observação da Figura 2 conclui-se que a quantidade de água absorvida é muito idêntica em todas as composições para os provetes ensaiados aos 28 dias e aos 56 dias de idade. A argamassa comercial é menos capilar em relação às composições em estudo verificando-se o mesmo comportamento num trabalho realizado por Coelho [11] que estudou o comportamento em relação à água da mesma argamassa comercial. No entanto, os valores não são comparáveis entre si, uma vez que, os provetes foram ensaiados em idades diferentes, a temperatura de secagem dos provetes é diferente, bem como a consistência da argamassa. No Quadro 5 apresentam-se os coeficientes de absorção capilar médios dos provetes ensaiados aos 28 e 56 dias de idade. Os coeficientes de absorção capilar são calculados de forma analítica de acordo com o preconizado pela Norma 1015-18:2002. Os coeficientes de absorção de água, à exceção da argamassa

comercial, determinados aos 90 minutos correspondem a provetes onde a água já tinha alcançado o topo. Segundo Sá [12] estes coeficientes não têm significado, uma vez que, são obtidos a partir de pesagens em que a água já tinha alcançado a face superior dos provetes.

Quadro 5 - Valores médios dos coeficientes de absorção capilar

	Coeficientes de absorção capilar		
	Idade (dias)	$C_{m_{90min}}^*$ ($kg/m^2 \cdot min^{0,5}$)	$C_{m_{24h}}^{**}$ (kg/m^2)
Argamassa comercial	28	0,2	7,1
	56	0,2	7,3
1:5MK	28	1,6	21,4
	56	1,7	20,9
1:7MK	28	1,8	20,7
	56	1,7	20,7
1:10MK	28	1,6	19,8
	56	1,4	19,8
1:5CV	28	1,5	18,8
	56	1,4	19,4
1:7CV	28	1,4	17,9
	56	1,2	17,2
1:10CV	28	0,8	18,1
	56	0,8	17,9
1:5PPC	28	1,6	18,2
	56	1,6	19,0
1:7PPC	28	1,4	17,9
	56	1,3	17,6
1:10PPC	28	1,1	17,8
	56	1,0	18,6

* Coeficiente médio de absorção de água entre os 10 e 90 minutos

** Coeficiente médio de absorção de água até às 24 horas de ensaio

3.2 Permeabilidade ao vapor de água

No Quadro 6 apresentam-se valores médios da permeância ao vapor de água, da permeabilidade ao vapor de água e da espessura de ar de difusão equivalente resultantes do ensaio de permeabilidade ao vapor de água para as composições 1:7MK e 1:5PPC.

Quadro 6 - Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água

Composições	Idade (dias)	(Kg/m ² .s.Pa) (x10 ⁻⁹)	π (Kg/m.s.Pa) (x10 ⁻¹¹)	Sd (m)
1:7MK	28	2,11	3,16	0,00582
1:5PPC	28	-8,98	-12,9	0,00834

Os resultados obtidos demonstram que as composições têm comportamentos diferentes em relação à permeabilidade ao vapor de água. O resultado obtido para a composição 1:7MK, em relação aos resultados obtidos em outros estudos [10,11], permite aferir que a composição apresenta boa permeabilidade ao vapor de água. A composição 1:5PPC apresenta um valor negativo de permeabilidade ao vapor de água. A razão para esse comportamento pode estar relacionada com o facto das partículas de pó da pasta cerâmica, que não reagiram com a cal aérea terem a capacidade de absorver humidade com muita facilidade, assim o provete de argamassa absorve humidade do meio ambiente exterior.

4. CONCLUSÕES

O ensaio de absorção de água por capilaridade, quer para provetes ensaiados aos 28 dias ou 56 dias de idade, mostra que apenas a composição 1:5MK apresenta coeficientes de absorção enquadrados no intervalo dos valores de referência, apesar de ligeiramente superiores. As restantes composições apresentam valores de coeficientes de capilaridades superiores aos valores de referência. Em relação à argamassa comercial o valor do coeficiente de absorção de água é muito reduzido, quer em provetes ensaiados aos 28 dias ou 56 dias de idade, demonstrando a baixa porosidade da argamassa comercial. O ensaio de permeabilidade ao vapor de água realizou-se para as composições com melhor comportamento mecânico, neste caso, as composições 1:7MK e 1:5PPC. As espessuras da camada de ar de difusão em ambas as composições são inferiores ao valor recomendado para rebocos exteriores, contudo revelam-se muito baixos.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Pacheco Torgal, F.; Faria, J.; Jalali, S. *Some considerations about the use of lime-cement mortars for building conservation purposes in Portugal: A reprehensible option or a lesser evil?* Construction and Building Materials 30, 2012, 488-494.
- [2] Coelho, A.; Torgal, F.Pacheco; Jalali, S. *A cal na Construção*. Edição Tecminho, Guimarães, 2009.
- [3] Margalha, M. G.; Veiga, M.R.; Velosa, A.L. *The Maturation time factor on the lime putty quality*. 7th International Brick Masonry Conference, 2007.
- [4] Freitas, V. P.; Gonçalves, P. *Specification and lime required for the application of a lime-based render inside historic buildings*. International Conference HMC 08 - Historical Mortars Conference: Characterization, Diagnosis, Repair and Compatibility. LNEC, Lisbon, 2008.
- [5] Agostinho, C. *Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

- [6] Elpida-Chrissy, A.; Eleni-Eva, T.; Elizabeth, V. *Lime-Pozzolan-Cement compositions for the repair and strengthening of historic structures*. International Conference HMC 08 - Hystorical Mortars Conference: Characterization, Diagnosis, Repair and Compability. LNEC, Lisbon, 2008.
- [7] Mosquera, M.; Silva, B.; Prieto, B.; Ruiz-Herrera, E. *Addition of cement to lime-based mortars: Effect on pore structure and vapor transport*. Cement and Concrete Research 36, 2006, 1635-1642.
- [8] Arandigoyen, M.; Alvarez, J. *Blended pastes of cement and lime: Pore structure an capillary porosity*. Applied Surface Science 552, 2006, 8077-8085.
- [9] Arandigoyen, M.; Alvarez, J. *Pore structure and mechanical properties of cement-lime mortars*. Cement and Concrete Research 37, 2007, 767-775.
- [10] Rodrigues, M. P. *Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Universidade Nova Lisboa - Departamento de Engenharia Civil, 2004, Lisboa.
- [11] Coelho, A. *Desenvolvimento de argamassas à base de cal e pozolanas*. Tese de mestrado. Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 2010.
- [12] Sá, A. F. *Rebocos em paredes de pedra e cal*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2005.