

## Desempenho Comparado entre Argamassas Comerciais para a Reabilitação e Argamassas de Cal Aérea e Metacaulino



Ana Zulmira Coelho  
Barros & Vieira, Lda  
Portugal  
zulmira.coelho@gmail.com



Said Jalali  
Universidade do Minho  
Portugal  
said@civil.uminho.pt



Fernando Pacheco Torgal  
C-TAC, Un. Investigação  
Universidade do Minho  
Portugal  
torgal@civil.uminho.pt

**Resumo:** No presente artigo apresentam-se resultados de uma investigação sobre o desempenho comparado entre argamassas comerciais destinadas a obras de reabilitação e três argamassas à base de cal aérea e de metacaulino. Os resultados obtidos em termos de ensaios de resistência à compressão e à flexão, de aderência através de ensaios de “pull-off”, absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor de água e perda de água, permitem concluir pelo bom desempenho das argamassas formuladas em laboratório.

**Palavras-chave:** Argamassas comerciais, reabilitação, cal aérea, metacaulino

### 1. INTRODUÇÃO

O aparecimento do cimento portland veio destronar as argamassas à base de cal aérea, porquanto as argamassas contendo aquele ligante na sua composição, caracterizavam-se por possuir uma resistência mecânica muito superior e o seu baixo tempo de presa permitia a conclusão dos trabalhos em prazos relativamente curtos.

Contudo as investigações mais recentes no âmbito das argamassas de reabilitação do património edificado apontam para a necessidade de evitar a utilização de argamassas à base de cimento portland, porquanto as mesmas são pouco permeáveis ao vapor de água, apresentam um elevado módulo de elasticidade que é incapaz de acomodar as deformações das alvenarias e principalmente devido ao facto daquele ligante ser responsável pela introdução de sais solúveis [1-5].

As antigas argamassas à base de cal ganham assim no contexto da reabilitação uma nova actualidade que importa compreender e fomentar. Estas padecem no entanto de um óbice que se prende com um endurecimento extremamente lento, o qual coloca sérios entraves à execução de revestimentos com este material [6], nalguns casos com uma duração superior a 1 ano [7]. Este problema pode ser no entanto ultrapassado pela utilização de argamassas à base de cal e pozolanas.

A utilização destas argamassas é uma tradição com milhares de anos, tendo surgido por acaso, quando acidentalmente se constatou o bom desempenho mecânico de argamassas de cal com adição de cinzas vulcânicas. Mais tarde ter-se-á constatado igualmente que se obtinha idêntico desempenho em argamassas de cal às quais se adicionavam fragmentos cerâmicos moídos (telhas ou tijolos).

Apesar de serem conhecidas há tanto tempo, importa ter presente que esse facto não se constitui contudo como suficiente para que as mesmas possam ser utilizadas pelo mercado da construção, por um lado porque o conhecimento que chegou aos nossos dias é um conhecimento muito empírico e também porque os requisitos de qualidade dos processos construtivos modernos, implicam que esse conhecimento esteja não só científica e experimentalmente consolidado, como também disseminado ao nível técnico pelos agentes que actuam ao nível do sector da construção. Algo que está longe de ocorrer se tivermos em conta que no nosso país são bastante recentes as investigações em torno deste tema [8].

Existem disponíveis comercialmente argamassas para reabilitação que padecem contudo de várias desvantagens, por um lado pelo facto de sobre elas somente se conhecerem as características fornecidas pelos seus fabricantes e por outro por apresentarem um custo relativamente elevado, o que tem como consequência que uma “fatia” importante do mercado da reabilitação de edifícios, opte por continuar a utilizar as argamassas à base de cimento portland. O presente trabalho procede por conseguinte a um estudo do desempenho de argamassas de cal área e metacaulino, comparando-o com o desempenho de argamassas disponíveis comercialmente.

## **2. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **2.1 Materiais, composição e execução das argamassas**

Foram estudadas três argamassas à base de cal e metacaulino e comparadas com uma argamassa comercial. A argamassa comercial utilizada no presente trabalho é comercializada pela Mapei com a designação Mape-Antique e de acordo com o catálogo deste fabricante destina-se a obras de reabilitação sujeitas a ambientes agressivos. Trata-se de uma mistura pré-preparada à base de ligantes hidráulicos, contendo agregados e fibras, sendo que um saco de 25kg deverá ser misturado com 3,5l de água.

Duas das composições estudadas continham metacaulino e cal aérea da classe CL90. A terceira composição continha metacaulino e cal hidratada em pasta comercializada pela Fradical, que possui características impermeabilizantes as quais advêm da mesma conter na sua composição um subproduto da produção do azeite.

A composição química do metacaulino utilizado no presente trabalho é apresentada na Tabela 1:

Tabela 1 – Composição química do metacaulino

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>	Other minor oxides
53,75	32,15	5,63	5,48	1,35	0,23	0,36	0,13	0,92

A composição das argamassas à base de cal e metacaulino estudadas no presente trabalho é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das argamassas à base de cal aérea e metacaulino

Composição	Areia (%)		Ligantes (%)		Água (l)
	80		20		
C25_75MC	Areia Monte Redondo	Areia 1-2mm	Cal aérea hidratada pó	Metacaulino	0,2
	93	7	25	75	
	80		20		
C25pasta_75MC	Areia Monte Redondo	Areia 1-2mm	Cal aérea hidrófuga hidratada pasta	Metacaulino	0,182
	93	7	25	75	
	80		20		
C50_50MC	Areia Monte Redondo	Areia 1-2mm	Cal aérea hidratada pó	Metacaulino	0,274
	93	7	50	50	

Afim de que a comparação entre argamassas fosse feita em condições de idêntica trabalhabilidade e atendendo a que a argamassa comercial Mape-Antique, obteve de acordo com a Norma EN 1015-3 de 1999: Parte 3 [9], um espalhamento de 19,5 cm, para a quantidade de água indicada pelo fabricante, optou-se por dosear a água das restantes argamassas afim de se obter igual valor de espalhamento.

Após a moldagem e desmoldagem dos provetes necessários aos diferentes ensaios estes foram curados em câmara húmida, com uma temperatura de 20 °C e HR=60%, onde permaneceram até à data do ensaio.

## 2.2 Procedimentos de ensaio

### 2.2.1 Resistência à flexão e à compressão

As resistências à flexão e à compressão foram determinadas de acordo com a norma EN 1015-11:1999 [10]. As resistências foram determinadas ao fim de 7,14,28,56 e 90 dias de cura, em provetes de 4×4×16 cm<sup>3</sup>, sendo que cada resultado da resistência à flexão foi

obtido da média de 3 provetes, enquanto que para a resistência à compressão se utilizaram 6 meios provetes.

### **2.2.2 Aderência através do ensaio “pull-off”**

A determinação da aderência foi feita de acordo com a norma EN1015-12:1999 [11], tendo-se para o efeito utilizado um aparelho portátil de arrancamento com a refª Proceq Dyna Z15. No presente ensaio pretendeu avaliar-se a aderência entre as quatro argamassas objecto de estudo e um substrato de alvenaria de tijolo cerâmico. Cada tijolo cerâmico correspondente a cada um dos diferentes tipos de argamassas, foi revestido com uma camada de 2cm de espessura. Após a fase de revestimento dos tijolos e a sua cura durante 28 dias, procede-se à colagem de pastilhas metálicas com 50mm de diâmetro. O ensaio consiste no apuramento da tensão de arrancamento e do modo de rotura.



Figura 1: Ensaio pull-off

### **2.2.3 Absorção de água por capilaridade**

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi efectuado de acordo com a norma EN1015-18:2002 [12], utilizando-se provetes cúbicos com 5cm de aresta e com 90 dias de cura. O ensaio consiste no registo da variação da massa de água absorvida pelos provetes ao longo do tempo devido a contacto de uma das suas faces com uma lâmina de água, tendo-se determinado o coeficiente de capilaridade que traduz a rapidez da absorção.

### **2.2.4 Permeabilidade ao vapor de água**

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada segundo o disposto na norma NP EN 1015-19:2000 [13]. Neste ensaio foram utilizados provetes de argamassa com um diâmetro de 80mm e 15 mm de espessura e 90 dias de cura. As faces de cada um dos provetes são colocadas através de uma cápsula em contacto com ambientes de diferente higrometria, medindo-se em seguida a variação da quantidade de vapor de água do ambiente de maior humidade (interior de uma cápsula) que transita para o ambiente de menor humidade (exterior da cápsula). As condições de humidade no interior das cápsulas são obtidas com a utilização de uma solução salina de  $\text{KNO}_3$ , a qual permite uma humidade relativa de 93,2% para uma temperatura de 20 °C. A evolução da permeabilidade ao vapor de água é efectuada com recurso a pesagens regulares do conjunto provete/cápsula ao fim de 1h, 2h, 4h, 6h, 24h, 32h, 56h, 80h e diariamente até aos 50 dias.

### 2.2.5 Perda de água

No ensaio de perda de água tenta-se caracterizar o tempo de secagem das argamassas. Este ensaio não está regulamentado por nenhuma norma, contudo foi já utilizado por outros autores [14]. Para o efeito utilizaram-se provetes cúbicos com 5cm de aresta com 30 dias de cura. Cada provete é impermeabilizado em cinco faces com parafina e posteriormente colocados em contacto com uma lâmina de água até à estabilização do nível de água absorvida. O ensaio consiste no registo da perda de água por evaporação ao longo do tempo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Comportamento mecânico

Na Figura 2 são apresentados os resultados da resistência à compressão das quatro composições de argamassas.

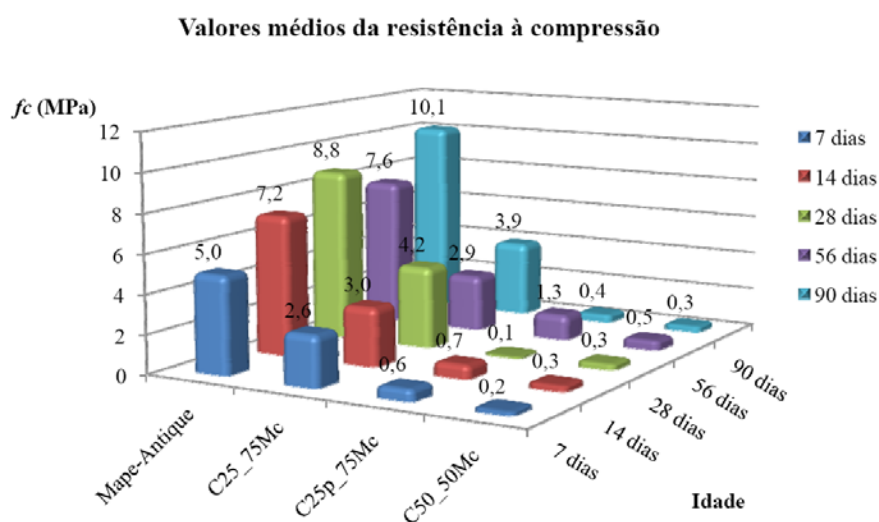


Figura 2: Resistência à compressão das argamassas

Relativamente às argamassas à base de cal e metacaulino pode distinguir-se claramente o comportamento da argamassa C25-75Mc, quando comparada com a argamassa com 25% de cal em pasta com gorduras e 75% de metacaulino e com a argamassas com 50% de cal em pó e 75% de metacaulino, porquanto a primeira tem um desempenho mecânico superior. Superior mesmo aos valores preconizados por outros autores para a resistência à compressão de argamassas de revestimento de edifícios antigos entre 0,4 e 2,5MPa [15]. Relativamente a esse aspecto a argamassa C25p-75Mc respeita o intervalo de valores referido, já o mesmo não sucedendo com a argamassa C50\_50Mc. Esta última não evidencia aliás um ganho de resistência nítido com o processo de cura, o que não era esperado tendo em conta o facto desta argamassa conter 50% de metacaulino. Pelo que possivelmente este comportamento poderá ter que ver com a quantidade de água utilizada, que é superior à das restantes argamassas. Particularmente interessante, é o facto da substituição de cal em pó por cal em pasta estar associada a uma significativa perda de

resistência, que poderá ficar a dever-se à retardação da carbonatação provocada pela presença de gordura e por uma maior compacidade deste tipo de cal. A argamassa Mape-Antique apresenta resistências elevadas logo a partir dos 7 dias, que também não respeitam os valores recomendados, para a resistência à compressão de argamassas de revestimento de edifícios antigos e que são típicas de ligantes com componentes hidráulicos.

Na Figura 3 são apresentados os resultados da resistência à flexão das diversas argamassas.

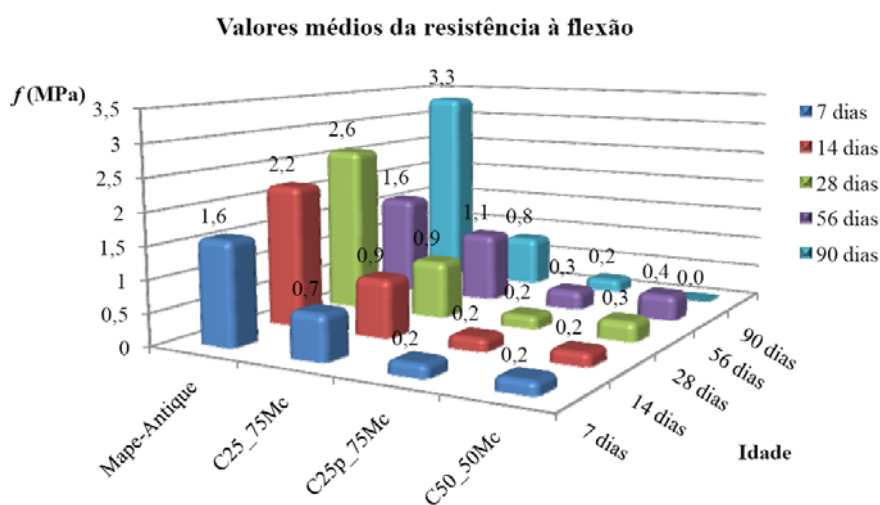


Figura 3: Resistência à flexão das argamassas

Os resultados obtidos em termos de resistência à flexão, não permitem conclusões que inovem relativamente aquelas já extraídas aquando dos resultados da resistência à compressão, confirmando-se que somente a composição C25p-75Mc respeita o intervalo de valores recomendado, para a resistência à flexão de argamassas de revestimento de edifícios antigos, entre 0,2 e 0,7MPa [15].

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados da tensão de aderência entre os diversos rebocos e tijolos cerâmicos obtidos no ensaio “pull-off”. As argamassas à base de metacaulino apresentam valores de tensão de aderência ao tijolo, relativamente semelhantes entre si. Estes valores são inferiores aos referidos na literatura em termos da aderência de argamassas de revestimento de edifícios antigos, entre 0,1 e 0,3MPa [15]. No entanto valores não são comparáveis, devido à diferença dos suportes utilizados. Na verdade outros autores referem valores tensão de aderência para argamassas à base de cal aérea aplicadas em suportes de tijolo entre 0,04 e 0,08MPa [16], similares aos obtidos no presente trabalho.

O valor da tensão de aderência obtido com a argamassa comercial é bastante superior ao obtido com as argamassas à base de cal aérea e parece por isso ser pouco indicado para ser utilizado como revestimento de edifícios antigos, pelo facto de poder provocar roturas que levem ao arrancamento do revestimento inicial do suporte.

Tabela 3 – Aderência reboco/tijolo

Argamassa	Tensão (MPa)	Modo de rotura	
		Rotura adesiva no interface	Rotura coesiva pelo reboco
Mape-Antique	0,21	75%	25%
C25_75Mc	0,07	75%	25%
C25p_75Mc	0,04	58%	42%
C50_50Mc	0,06	0	100%

### 3.2 Absorção de água por capilaridade

Na Figura 4 são apresentados os resultados do coeficiente de absorção de água por capilaridade.

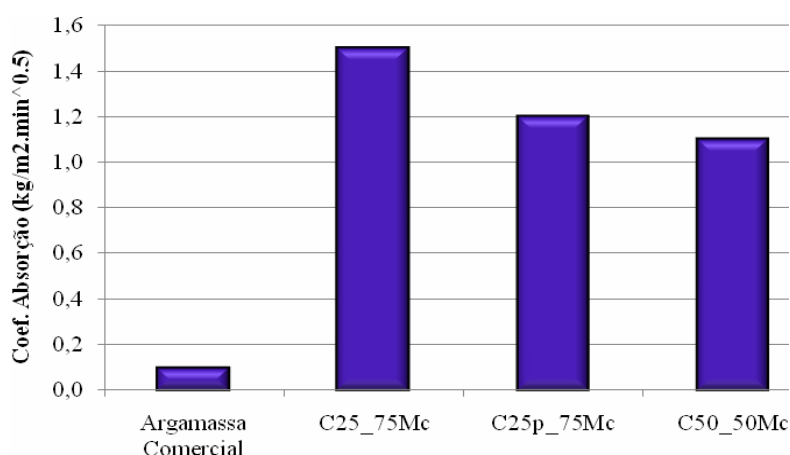


Figura 4: Coeficiente de capilaridade

Pode constatar-se que a argamassa comercial absorve água capilar de forma muito mais lenta que as argamassas à base de cal aérea e metacaulino. Este facto era expectável porquanto se trata de uma argamassa com ligantes hidráulicos e logo possivelmente com uma microestrutura muito mais densa. Entre as argamassas à base de cal aérea e metacaulino, comprova-se um aumento de 36% da rapidez da absorção, quando se reduz a quantidade de cal de 50% para 25% e se aumenta a quantidade de metacaulino de 50% para 75%. Já a utilização de iguais quantidades de cal aérea e metacaulino, sendo que a única diferença é num caso cal aérea em pó e noutra em pasta com gorduras, está neste último caso associada a uma diminuição de 20% do coeficiente de capilaridade. Esta diminuição era esperada atendendo a que nesta composição foi utilizada uma cal com gordura que tipicamente reduz a capilaridade das argamassas onde é utilizada [16]. Os valores do coeficiente de capilaridade das argamassas de cal e metacaulino estudadas no presente trabalho inserem-se no intervalo de valores recomendado, para o coeficiente de capilaridade de argamassas de revestimento de edifícios antigos, entre 1 e 1,5 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>) [15].

### 3.3 Permeabilidade ao vapor de água

Na Figura 5 são apresentados os resultados da permeabilidade ao vapor de água das diversas argamassas.

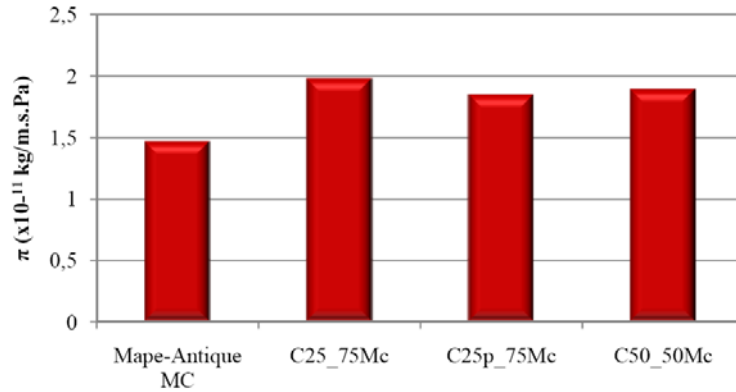


Figura 5: Permeabilidade ao vapor de água

Os resultados obtidos apontam para o facto das argamassas à base de cal aérea e metacaulino apresentarem valores de permeabilidade muito idênticos, o que leva a concluir que não são influenciados pela utilização de cal aérea em pó ou em pasta, nem pelas variações de volume da cal e do metacaulino que distinguem as três composições. A permeabilidade ao vapor de água da argamassa comercial é idêntica à permeabilidade de uma argamassa à base de cimento ao traço 1:4 obtida por outros autores [17]. Os mesmos autores referem valores de permeabilidade ao vapor para argamassas bastardas de cal aérea e cimento da mesma ordem de grandeza dos obtidos no presente trabalho para as argamassas de cal aérea e metacaulino.

### 3.4 Perda de água

Na Figura 6 são apresentados os resultados da perda de água até ao fim do ensaio que durou 30 dias.

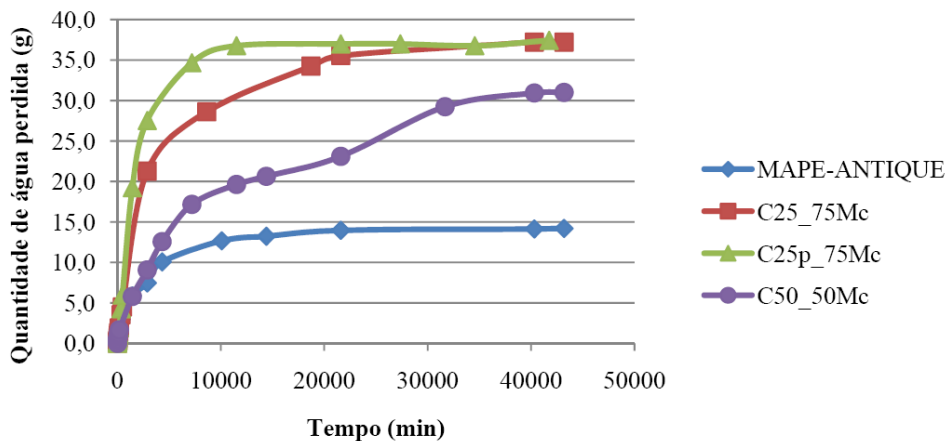


Figura 6: Quantidade de água evaporada



As argamassas com a mesma quantidade de cal aérea e metacaulino tem um comportamento muito idêntico, exceptuando o período que decorre entre as 70 horas e as 350 horas, onde se verifica uma diminuição da taxa de evaporação da argamassa com cal aérea. A argamassa com 50% de cal e 50% metacaulino tem uma evaporação mais lenta que as duas restantes mas com uma taxa de evaporação que aumenta mais tarde permitindo-lhe ao fim dos 30 dias do ensaio atingir um volume de água evaporada idêntico ao daquelas argamassas. Já a argamassa comercial embora nos instantes iniciais tenha uma evaporação mais ou menos rápida, começa logo a partir das 80 horas a evidenciar uma estabilização da mesma, apresentando uma quantidade de água evaporada que é metade das argamassas de cal e metacaulino.

#### **4. CONCLUSÕES**

As argamassas à base de cal aérea e metacaulino estudadas no presente trabalho apresentam em termos gerais um desempenho muito melhor do que o da argamassa comercial, isto se o fim pretendido for o de respeitar requisitos definidos para o comportamento de argamassas de revestimento de edifícios antigos. A argamassa comercial apresenta resistências à compressão que são manifestamente excessivas para esse fim, o mesmo sucedendo com a sua tensão de aderência, pelo que o presente estudo evidencia a necessidade do desenvolvimento de argamassas comerciais menos resistentes. A composição com 25% de cal aérea em pasta e 75% de metacaulino foi a única que conseguiu valores aceitáveis em todos os ensaios realizados. As restantes argamassas de cal e metacaulino, padecem de limitações no que respeita à sua resistência à compressão, uma delas tem uma resistência à compressão muito elevada (C25\_75Mc) e a outra uma resistência excessivamente baixa (C50\_50Mc). Os resultados apontam para a necessidade de novas investigações destinadas a otimizar a proporção entre a cal e o metacaulino, bem assim como estudar o desempenho destas argamassas não só em termos de provetes prismáticos, mas também em contexto de revestimentos aplicados em paredes de alvenaria de pedra.

#### **5. REFERÊNCIAS**

- [1] Veiga, M.; Aguiar, J.; Silva, A.; Carvalho, F. *Conservação e renovação de revestimentos de edifícios antigos*. 2004, LNEC.
- [2] Gonçalves, T. Salt crystallization in plastered or rendered walls. Ph.D Thesis, 2007, IST-LNEC.
- [3] Guerreiro, C.; Henriques, F.M.A.; Pinto, A.P. *Análise comparativa de cal aérea, medianamente hidráulicas e de ligantes mistos para reboco de edifícios antigos*. 2º Congresso Nacional de Argamassas, 2007, Lisboa.
- [4] Martinez, M. ; Carro, G. *Ancient building requirements and the evaluation of different lime-cement mortars compositions*. 2º Congresso Nacional de Argamassas, 2007, Lisboa.
- [5] Coelho, A.; Torgal, F. M. Alves S. P.; Jalali, Said *A cal na Construção*. ISBN 978-972-99179-8-1, 2008, 130 pág. Edição TecMinho, Guimarães, Portugal
- [6] Almeida, N.G.; Rodrigues, P.F; Pinto, A.P. *Argamassas com Base em Cal Aérea e Cinzas de Casca de Arroz para Conservação do Património Construído*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, 2007, Lisboa.
- [7] Freitas, V.P.; Gonçalves, P.F. *Specification and time 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, 2008, Lisbon.

[8] Velosa, A.L.P. *Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas*. Tese de Doutoramento, 2006, Universidade de Aveiro.

[9] CEN, *Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. EN 1015-3:1999.

[10] CEN, *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. EN 1015-11:1999.

[11] CEN, *Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. EN 1015-12:1999.

[12] CEN, *Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. EN 1015-18: 2002.

[13] NP, Métodos de ensaios de argamassas para alvenaria – Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água. NP EN 1015-19: 2000.

[14] Agostinho, C.S.A. *Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2008, IST - Universidade Técnica de Lisboa.

[15] Veiga, M. Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. Actas do 3º Encore, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. LNEC, Lisboa, 2003.

[16] SÁ, A.F.G. *Rebocos em Paredes de Pedra e Cal*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, IST, 2005.

[17] Rodrigues, P.F.; Henriques, F.M.A.; Rato, V.M. Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2007.