

ALGUMAS VANTAGENS DO USO DA CAL EM PASTA EM REVESTIMENTOS

Maria Goreti Margalha*

Correio electrónico: mgoreti@netvisao.pt

Maria do Rosário Veiga†

Correio electrónico: rveiga@lnec.pt

Jorge de Brito‡

Correio electrónico: jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

O avanço das tecnologias fez perder saberes ancestrais e, deixaram de estar disponíveis materiais de construção utilizados durante séculos. O uso da cal aérea foi sendo excluído das construções, sobretudo pelo aparecimento do cimento. Hoje procura-se retomar a aplicação da cal na recuperação de edifícios antigos, mas os construtores, de uma maneira geral, rejeitam esta opção dado que o processo de endurecimento é muito diferente quando comparado com o dos ligantes hidráulicos, obrigando a tempos de espera bastante alargados entre as várias camadas de aplicação dos revestimentos.

Por outro lado, sabe-se que a cal em pasta foi a forma preferencial de utilização deste ligante até o desenvolvimento tecnológico permitir apresentar este produto sob a forma de pó e ensacado. Um dos riscos de quem usa a cal aérea em pó deve-se ao facto de este ligante entrar facilmente em processo de carbonatação quando não se encontra devidamente armazenado.

Na presente comunicação, pretende-se apresentar alguns resultados experimentais, nomeadamente aplicações em obra e ensaios laboratoriais de uma investigação a decorrer, sobre o uso da cal em pasta. Este estudo está a ser elaborado no âmbito de uma tese de doutoramento que conta com o apoio da Fundação Calouste Gulbenkian e se insere num projecto, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, sobre a influência das técnicas de preparação da cal no desempenho dos revestimentos.

Palavras-chave: Argamassa, Cal em pasta, Maturação da cal.

* Engenheira Civil, Câmara Municipal de Beja

† Engenheira Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

‡ Engenheiro Civil, Instituto Superior Técnico

1 Considerações iniciais

Até ser descoberto o cimento no século XIX, a cal terá sido o ligante preferencial, tendo desempenhado um papel importantíssimo e ainda visível em muitas construções antigas. É importante ter presente que o cimento tem qualidades indiscutíveis mas que, em argamassas destinadas à recuperação de alvenarias antigas não é aconselhável, dadas as características que lhes confere e que as tornam incompatíveis com os materiais antigos, como a insuficiente permeabilidade ao vapor de água, o elevado módulo de elasticidade e a presença de hidróxidos alcalinos que podem reagir com as soluções salinas que penetram por capilaridade, originando sais solúveis.

Acontece que muitos construtores são desfavoráveis à utilização da cal porque já não dominam a forma de preparar e aplicar este material que tem um processo de endurecimento muito diferente dos ligantes hidráulicos. Este processo de carbonatação lento das argamassas de cal hidratada não convida à sua aplicação em rebocos e acabamentos, onde apesar de tudo na última década começaram a ser usadas de uma forma tímida em obras de recuperação, e muito menos em argamassas de assentamento e em injeções para consolidação de alvenarias, onde o contacto com o ar é praticamente inexistente e portanto o endurecimento é ainda mais lento.

Também alguns processos tradicionais de execução de argamassas deixaram de ser praticados. As argamassas são actualmente preparadas no dia em que vão ser aplicadas e, quando se utilizam ligantes hidráulicos, é fundamental que assim aconteça. No entanto, os ligantes aéreos, desde que se mantenham convenientemente humedecidos, poderão ser preparados antecipadamente em relação à data de aplicação em obra. Nos inquéritos efectuados a pedreiros em trabalhos anteriores [1], foi indicado por estes que era frequente deixar as massas, em traço, com pouca água, um dia ou mais antes de serem aplicadas. Há referências a que o traço ficava a aguardar quinze dias, um mês ou mais antes de ser aplicado. [1, 2, 3, 4].

Também na cal em pasta, dado que a presença em excesso da água não permite o seu contacto directo com o ar, não há o risco da carbonatação do material, pelo que, quando é utilizado, toda a cal funciona como ligante, o que nem sempre acontece com a cal hidratada em pó.

2 Materiais seleccionados

No trabalho laboratorial desenvolvido procurou-se conhecer a influência do processo de preparação da argamassa na qualidade da mesma e simultaneamente a influência do tempo de maturação da cal. Por outro lado, procurou-se estudar argamassas executadas em obra preparadas com cal em pó e em pasta, com diferentes tempos de extinção. Para o efeito, foram estudadas argamassas em pasta e na fase endurecida, analisando tempos de secagem distintos.

Para os ensaios, foram seleccionados os seguintes materiais:

AREIAS E MISTURAS:

A1 - areia de areeiro de Santa Margarida - fina;

A2 - areia de areeiro de Santa Margarida - grossa;

A3 - mistura de areias de areeiro de Santa Margarida - 1/3 fina + 2/3 grossa;

CAIS:

Ca 1 - Cal hidratada da Lusical em pó;

Ca 2 - Cal em pasta - União de Gessos - extinção prolongada - 5 anos (2000);

Ca 3 - Cal em pasta - zona de Trigaches - extinção recente - (2005);

Ca 4 - Cal em pedra - União de Gessos.

2.1 Influência do processo de extinção da cal

Em trabalhos anteriores [1], na análise mineralógica de amostras de cal branca e de cal preta, verificou-se que a percentagem de cal carbonatada é elevada quando o produto é armazenado em condições deficientes, chegando a atingir o valor de 25% (Tabela 1).

Tabela 1: Análise mineralógica de algumas cais

Local	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	Ca(OH) ₂	Mg(OH) ₂	CaO	MgO	Outros
Alcanede	23.0	--	74.0	--	--	--	3.0
Montes Claros (branca)	25.0	--	70.0	--	--	--	4.0
Montes Claros (preta - fornecedor)	22.8	vestígios	42.8	17.6	--	--	17.0
Montes Claros (preta - obra)	9.0	--	51.0	37.0	1.0	1.0	1.0

De facto repare-se que a cal preta, quando extinta pelo fornecedor, acusou valores mais elevados de cal carbonatada do que a cal extinta em obra. O tempo que medeia desde a altura em que a cal é extinta e a sua utilização em obra, bem como o cuidado no processo de armazenamento do material são fundamentais para que esta mantenha as suas características. O facto de os pedreiros, quando inquiridos, referirem que as cais actuais já não têm as características das cais antigas pode estar fortemente relacionado com os processos de execução da argamassa, porque eram os próprios que faziam a extinção da cal em obra e a utilizavam após ser traçada com a areia. Com estes procedimentos, evitava-se que a cal estivesse em pó por períodos prolongados e, naturalmente, evitava-se a sua combinação com o dióxido de carbono da atmosfera antes de ser utilizada.

Nos ensaios efectuados em laboratório para avaliação do processo de extinção da cal, a cal em pedra, CaO, foi partida em pequenas porções, sendo depois incorporada na mistura das areias A1 e A2 que foram utilizadas secas (Figura 1). O traço de **1 (ligante em pedra) : 3 (agregado)**, foi medido em volume adicionando um

balde de cal em pedra a dois baldes de areia grossa e um balde de areia fina, procurando traduzir a forma de utilização destes materiais em obra. À mistura foi, posteriormente, adicionada água em pequenas quantidades para garantir que toda a cal hidratava, com a transformação do óxido de cálcio em hidróxido de cálcio:

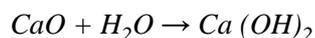


Figura 1: Várias fases da preparação da mistura de areia com cal viva

A massa foi preparada num dia e os provetes foram moldados em duas fases, após um dia - argamassa 12 B - e após sete dias da sua preparação - argamassa 12 B1. A pasta foi mantida num recipiente que foi tapado para evitar a evaporação da água, mantendo húmida a argamassa e não permitindo a sua carbonatação.

As argamassas, antes de serem moldadas, foram introduzidas na misturadora onde foi adicionada alguma água até as pastas ganharem uma adequada consistência. Na Tabela 2, são fornecidas as quantidades de materiais adicionados.

Tabela 2: Materiais utilizados e massas volúmicas

	Água	Ca 4	A2	A1
Massa volúmica (kg/m ³)	1000	267.08*	1 485.4	1 452.4
Quantidade de material	11 l	5 341.0 g	18 140.8 g	7 957.9 g

* Considerando que a cal em pedra aumenta de volume 2.5 vezes quando é hidratada, facto este baseado em ensaios preliminares que se fizeram

O processo utilizado originou a introdução de uma grande percentagem de ligante. Introduzindo, posteriormente para cálculo, as massas volúmicas dos materiais, concluiu-se que o traço volumétrico usado foi de **1 (ligante em pó) : 0.88 (agregado)**.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos ensaios efectuados com as argamassas em pasta com o traço em volume calculado.

Tabela 3: Resultados dos ensaios das argamassas em pasta preparadas para o estudo de maturação da cal

Identificação da argamassa	12-B (1 dia)	12-B1 (7 dias)
Quantidade de água (ml)	250	80
Espalhamento (mm)	142	148
Massa volúmica em pasta (kg/m ³)	1 863.4	1 920.6

Pôde-se apurar, durante a execução dos provetes, que após sete dias de repouso, os materiais areia e cal estavam mais ligados entre si, tendo-se registado um valor superior da massa volúmica, para além de ter sido necessário adicionar uma quantidade muito menor de água para obter uma trabalhabilidade suficiente para a

argamassa ser aplicada. Note-se que o valor do espalhamento obtido para a argamassa 12-B1 é um pouco superior ao da argamassa 12-B, apesar da quantidade de água inferior. As argamassas aplicadas em tijolos furados mostraram um grau elevado de fissuração, sendo esta também menos generalizada na argamassa 12-B1.

A Tabela 4 contém os resultados dos ensaios das argamassas endurecidas.

Tabela 4 : Resultados dos ensaios das argamassas endurecidas preparadas para o estudo de maturação da cal viva apagada com areia

Identificação da argamassa	12-B (1 dia)	12-B1 (7 dias)
Módulo de elasticidade aos 28 dias (MPa)	4183.0	5147.0
Módulo de elasticidade aos 90 dias (MPa)	4813.0	4647.0
Resistência à flexão aos 28 dias (MPa)	0.30	0.47
Resistência à flexão aos 90 dias (MPa)	0.43	0.60
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	0.57	0.58
Resistência à compressão aos 90 dias (MPa)	0.97	1.08
Relação flexão/ compressão aos 28 dias	0.53	0.81
Relação flexão/ compressão aos 90 dias	0.44	0.56
Coefficiente de capilaridade aos 28 dias ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{-1/2}$)	1.53	1.33
Coefficiente de capilaridade aos 90 dias ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{-1/2}$)	1.65	1.48

Quanto ao comportamento mecânico das argamassas, verifica-se que cumprem os requisitos mínimos para serem aplicadas, enquanto que, nos parâmetros avaliados de comportamento à água, os valores do coeficiente de capilaridade são elevados [5].

O tempo de maturação de sete dias teve influência positiva no comportamento da argamassa endurecida. Nomeadamente, registaram-se valores superiores de resistências mecânicas, também das relações flexão / compressão e uma redução do coeficiente de capilaridade. Por outro lado, aos 28 dias, o módulo de elasticidade aumentou, o que é desfavorável, mas os valores aproximaram-se aos 90 dias, sendo todos os valores moderados.

As argamassas foram observadas numa lupa binocular, com uma ampliação de 7.5 a 30 vezes onde pôde ser observada a microfissuração, não se assinalando grandes diferenças, neste aspecto, entre a argamassa moldada com 1 ou 7 dias (Figura 2). Esta ocorrência pode não ter permitido obter melhores resistências mecânicas e ter criado caminhos fáceis à penetração de água em ambas as argamassas.

Figura 2: Observação à lupa binocular das argamassas 12-B (à esquerda) e 12-B1 (à direita)

As argamassas com grande dosagem de ligante foram utilizadas no passado [2, 6]. De qualquer forma, a sua aplicação tem que ser muito cuidada, nomeadamente ao nível da espessura das camadas e no tempo de espera de aplicação de cada uma

delas. Como o processo de carbonatação é lento, as resistências das argamassas com grandes percentagens de cal, nos primeiros dias, são mais baixas [7].

2.2 Aplicações em obra

Um dos problemas que se encontra no estudo das argamassas vem da dificuldade em se reproduzir as condições naturais em que estas vão ser aplicadas, nomeadamente a porosidade do paramento e as trocas de vapor de água que ocorrem entre o interior e o exterior dos edifícios, entre outras características. Por outro lado, as argamassas em laboratório são testadas em moldes que não favorecem o processo de carbonatação quando o ligante único é a cal aérea. No entanto, os testes laboratoriais são válidos e preciosos porque permitem estabelecer diversas comparações de resultados e confrontá-los também com pesquisas de outros investigadores. A aplicação de argamassas em obra é um complemento fundamental aos testes laboratoriais para conhecer as suas características de durabilidade face aos agentes exteriores e de compatibilidade com as alvenarias. Assim, foram aplicadas algumas argamassas em obra nas datas de 15 e 16 de Julho de 2005, com o objectivo de testar, entre outros, os seguintes factores:

- comparação de comportamento de argamassas preparadas com cal em pasta relativamente à cal em pó;
- diferença de comportamento de argamassas preparadas com uma cal em pasta de extinção recente (2005) e com outra de período de maturação longo (2000);

O edifício escolhido para a aplicação das argamassas é uma construção antiga localizada numa das praças mais emblemáticas da cidade de Beja, a Praça da República. Na Tabela 5 são apresentadas as características das argamassas executadas.

Tabela 5: Tipos de cais e traços empregues

Identificação	14 C	14C1	15 C	15C1	16 C	16C1
Tipo de cal	Cal em pasta recente		Cal em pasta antiga		Cal hidratada em pó	
Tipo de agregados	A3	A1	A3	A1	A3	A1
Massa volúmica das cais (kg/m ³)	556.41*		556.41*		667.7	
Traço em volume (obra)	1 ligante: 3 agregado		1 ligante: 3 agregado		1 ligante: 3 agregado	
Traço em volume (corrigido com as massas volúmicas do ligante)	0.83 ligante: 3 agregado		0.83 ligante: 3 agregado		1 ligante: 3 agregado	

* Considerando que 1/6 da cal em pasta é água

As condições de aplicação não foram as ideais devido ao forte calor que se sentia na cidade em Julho, com temperaturas perto dos 40 °C. Houve o cuidado de molhar os paramentos e, após aplicação das argamassas, não permitir a sua secagem rápida, molhando-as frequentemente. As argamassas escolhidas foram aplicadas numa zona baixa do edifício onde foi picada a última camada de reboco e a camada de acabamento que se mostrava deteriorada devido à existência de argamassas com cimento. As camadas de reboco originais permaneceram no edifício.

Verificou-se que as argamassas preparadas com cal em pasta de extinção antiga foram mais fáceis de misturar, o que foi conseguido sem a adição de qualquer quantidade de água, ganhando-se uma pasta perfeitamente homogénea (Figura 3). Para o pedreiro foi mais simples a aplicação das argamassas de cal em pasta do que a de cal em pó, que se apresentava menos coesa. A argamassa mais difícil de preparar foi a de cal em pasta de extinção recente porque se apresentava muito densa e não foi possível eliminar todos os grãos de cal existentes na mistura manual efectuada, o que obrigou a uma maior junção de água (Figura 4).

Figura 3: Aspecto da argamassa preparada com cal em pasta antiga

Figura 4: Preparação da argamassa com cal em pasta recente

As argamassas foram aplicadas em duas camadas, a primeira com uma mistura de areia grossa e areia fina de Santa Margarida na proporção em volume de 2/3 e 1/3, respectivamente, e a camada final apenas com areia fina de Santa Margarida. A primeira camada foi aplicada com uma espessura de, aproximadamente, 10 mm e a de acabamento com uma espessura de cerca de 2 a 3 mm. A camada de acabamento foi afagada com uma talocha de madeira, mantendo o reboco com uma ligeira rugosidade (Figuras 5 e 6). Os traços mantiveram-se da primeira para a segunda camada de acabamento, em cada um dos painéis realizados. A técnica usada foi de camada fresca sobre camada fresca. Esta forma de aplicar os revestimentos deve-se à pequena espessura do acabamento tendo-se considerado, neste caso em particular, que seria aconselhável privilegiar a aderência entre as duas camadas.

Figura 5: Aspecto das argamassas aplicadas em obra - 1ª camada

Figura 6: Aspecto das argamassas aplicadas em obra - camada de acabamento

No painel moldado com a cal em pasta recente, foram visíveis pequenas fissuras uma semana após a aplicação das argamassas. Uma das razões possíveis para tal é a adição de água ter sido superior para que a argamassa ganhasse a plasticidade necessária para ser aplicada. No painel moldado com cal em pasta antiga não se registou qualquer dano. No painel moldado com a cal em pó verificaram-se algumas fissuras, principalmente junto a uma zona que se encontrava bastante deteriorada e onde se aplicou uma espessura de argamassa superior à dos restantes locais.

A cor ganha pelo uso de uma cal em pasta branca com areias de cor clara originou painéis de coloração muito próxima do branco o que propiciou uma excelente base para a aplicação da caição que foi efectuada posteriormente com a cal mais antiga. Esta camada veio colmatar toda a fissuração observada nos rebocos, não existindo qualquer patologia a registar actualmente, passados quatro meses, nos revestimentos aplicados.

As argamassas foram transportadas da obra, em Beja, para o LNEC, em Lisboa onde os ensaios laboratoriais foram efectuados. A Tabela 6 contém alguns resultados desse trabalho utilizando os materiais e traços definidos na Tabela 5.

Tabela 6 : Resultados dos ensaios de laboratório

	14 C	14C1	15 C	15C1	16 C	16C1
Tipo de cal	Cal em pasta recente		Cal em pasta antiga		Cal hidratada em pó	
Espalhamento (mm)	123.5	133.0	110.0	119.8	129.3	131.3
Resistência à flexão aos 90 dias (MPa)	0.73	0.87	0.73	0.75	0.80	0.60
Resistência à compressão aos 90 dias (MPa)	1.50	1.53	1.65	1.35	1.63	1.32
Relação flexão/ compressão	0.49	0.57	0.44	0.56	0.49	0.45
Coefficiente de capilaridade aos 28 dias ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)	2.04	1.86	1.69	1.60	1.64	1.38

Também nestas argamassas ensaiadas, os parâmetros avaliados do comportamento mecânico cumprem os requisitos mínimos para serem aplicadas, enquanto que o coeficiente de capilaridade é superior ao aconselhável, embora o ensaio, realizado aos 28 dias, não seja muito significativo [5].

As resistências à flexão e à compressão foram semelhantes para todas as argamassas.

Em obra os materiais foram misturados sem controlo de água, tendo o pedreiro adicionado a água que considerou essencial para a pasta ser trabalhável. No entanto, nas argamassas de cal antiga, 15C e 15C1, não houve adição de água. Na generalidade, registou-se maior espalhamento nas argamassas executadas com as areias finas, sendo o coeficiente de capilaridade mais baixo nestas argamassas. O valor do coeficiente de capilaridade é um pouco superior para as argamassas com cal em pasta recente, 14C e 14C1.

Em síntese, nos ensaios com argamassas feitas em obra, não se revelaram melhorias significativas das argamassas preparadas com cal em pasta comparativamente às argamassas preparadas com cal em pó. Note-se, no entanto, que o teor

de Ca(OH)_2 das argamassas com cal em pasta é menor que o das argamassas com cal em pó, devido à quantidade de água que a cal em pasta contém. É necessário, em laboratório, despistar alguns desvios que se verificaram nos traços aplicados para que se tornem mais comparáveis.

3 Considerações finais

A utilização de argamassas de cal aérea justifica-se por diversas razões: históricas, de compatibilidade entre materiais e de imagem urbana. Acontece que este material, face ao seu concorrente, o cimento, apresenta algumas desvantagens, nomeadamente de endurecimento inicial, tornando-os muito susceptíveis a qualquer acção exterior. Assim, é importante que se adquiram adequadas características destas argamassas, através de factores de qualidade dos próprios materiais que as constituem, a cal, o agregado ou a junção de elementos adicionais, bem como a utilização de metodologias de preparação convenientes.

O estudo preliminar já realizado permitiu verificar que:

- nas argamassas preparadas com cal viva extinta com areia (12-B e 12-B1), o processo de maturação mais longo da cal tem uma influência positiva na plasticidade das argamassas, evitando a junção de muita água durante a execução das mesmas, o que contribui para melhorar as suas características mecânicas e de capilaridade;
- as aplicações em obra de argamassas de cal em pasta e de cal em pó e os ensaios laboratoriais dessas argamassas não mostraram diferenças significativas de comportamento; contudo, a cal em pasta tem a grande vantagem de ser um ligante que não perde qualidades com o armazenamento, comparativamente com a cal aérea em pó.

A continuação do estudo com ensaios em maior número e a mais longo prazo e com a correcção de alguns factores que dificultam a comparação de resultados, como o teor real de hidróxido de cálcio e a quantidade de água, permitirão, espera-se, fundamentar conclusões mais claras sobre as vantagens e desvantagens dos vários métodos de preparação das argamassas de cal.

4 Bibliografia

- [1] Margalha, M. G. *O uso da cal em argamassas no Alentejo*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, 1997.
- [2] Malinowski, E. S. *Historic mortars revived*, Repair Mortars for Historic Masonry, RILEM, Delft, Janeiro 2005.

- [3] Hughes, J. *et.al*, *Compressive and flexural strength testing of brick masonry panels constructed with two contrasting traditionally produced lime mortars*, RILEM, Delft, Janeiro 2005.
- [4] Veiga, Rosário, *et.al.*, *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*, LNEC, Lisboa, 2004.
- [5] Veiga, Rosário, *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*, 3º Encore, LNEC, 2003.
- [6] Luxán, M.P., *Características de las argamasas antiguas desde la perspectiva de los revocos e su durabilidad*, Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa, Maio 2003.
- [7] Stefanidou, M. *et.al.*, *The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars*, *Cement and Concrete Composites*, 27, 2005.p.914-919.