

# Avaliação comparativa de cais aéreas correntes

## *Comparative Evaluation of Aerial Limes*

**Paulina Faria Rodrigues**

*Mestre em Construção, Assistente, Dpt. de Engenharia Civil da Univ. Nova de Lisboa, Portugal, mpr@fct.unl.pt*

**Fernando M.A. Henriques**

*Doutor em Engenharia Civil, Agregado, Dpt. de Engenharia Civil da Univ. Nova de Lisboa, Portugal, fh@fct.unl.pt*

*SUMÁRIO: É frequente a referência em bibliografia internacional às vantagens que adviriam do processo de extinção da cal aérea se verificar em períodos de tempo dilatados. Com vista à avaliação concreta da existência desses eventuais benefícios, elaborou-se um estudo cujos resultados são apresentados no presente texto, dos quais parece ressaltar de forma clara o bom comportamento dos pontos de vista das trabalhabilidades e resistência aos sulfatos das argamassas realizadas com cais de extinção longa.*

*PALAVRAS-CHAVE: cal aérea, extinção da cal, comportamento de cais aéreas.*

*ABSTRACT: International bibliography usually refers that lime with large periods of extinction behave better than the current hydrated types. In order to evaluate those eventual benefits, an experimental study was carried out, whose conclusions are presented in this paper. It seems clear that limes with large extinction periods behave better, particularly in what concerns applicability and resistance to sulphates.*

*KEYWORDS: aerial lime, lime extinction, performance of aerial limes.*

## 1 - INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade que se considerou que o uso de cal aérea requeria que a sua extinção se processasse ao longo de períodos alargados, como forma de assegurar devidamente o processo de extinção do óxido de cálcio. Essa tradição manteve-se entre nós até ao presente, designadamente através do hábito de proceder à extinção da cal viva em pedra *in situ* muito antes da sua aplicação na execução de estuques. Mas se por um lado a esse nível a tradição se manteve, já o uso de ligantes aéreos na confecção de argamassas de reboco foi praticamente abandonada até há cerca de vinte anos, altura a partir da qual foi novamente reabilitada na óptica nova de produção de argamassas bastardas. Para este fim surgiram no mercado as cais hidratadas, comercializadas em pó, que se integravam numa filosofia de progressiva industrialização e de facilidade de utilização.

A nível da conservação do património histórico, e em particular nos casos em que era aconselhável o emprego de argamassas apenas de cal aérea, a bibliografia e a prática internacionais recomendavam a utilização de cais com extensos períodos de extinção. Em países como a Itália ou o Reino Unido é muito fácil adquirir cais com períodos de extinção de alguns meses ou mesmo de anos. Como vantagens atribuídas a estes produtos são correntemente citadas a melhoria da trabalhabilidade - inegável e em alguns casos

verdadeiramente notável - e a melhoria do seu desempenho, em consequência, designadamente, do decréscimo da dimensão dos cristais de portlandite que motiva um aumento da superfície específica.

A existência no mercado nacional de cal aérea comercializada sob três formas - hidratada, em pedra e micronizada -, das quais a primeira é apagada e as restantes vivas, justificava a realização de uma análise comparativa, cujos resultados iniciais já foram publicados [1]. A continuação desse estudo e, em particular, a obtenção de resultados inesperados no ensaio de resistência à acção dos sulfatos, justificaram a apresentação desses dados na presente comunicação.

## 2 - DESCRIÇÃO DAS CAIS ENSAIADAS

Para o presente estudo foram analisados três tipos diferentes de cais aéreas, em particular cal hidratada comercializada em pó (**ca**), cal viva micronizada (**cvm**) e cal viva em pedra (**cvp**). Com base nessas cais procedeu-se à preparação de argamassas com traço volumétrico de 1:2, utilizando-se como inerte uma areia de rio corrente na região de Lisboa. No caso das duas cais vivas ensaiadas elas foram previamente extintas por imersão em água durante algum tempo, permanecendo nessas condições até à sua utilização (2 meses no caso de **cvm** e 8 meses relativamente à **cvp**, aquando do estudo referido em [1]; 10 meses no caso de **cvm** e 16 meses no que se refere à **cvp**, na continuação do estudo agora apresentada).

Por se ter constatado uma excelente plasticidade nas argamassas frescas contendo **cvp** pretendeu-se aferir as características obtidas com este tipo de argamassas quando realizadas com menor consistência. Por outro lado, as dificuldades na obtenção das consistências desejadas [2] com a cal em pasta, deram origem a que fosse necessário proceder a diversas amassaduras antes de se atingirem os valores pretendidos. Esse facto foi aproveitado para se ensaiarem argamassas de diferentes consistências com essa cal. A generalidade dos ensaios foram conduzidos ao fim de 60 dias e de 90 dias.

Os espalhamentos das argamassas utilizadas são apresentados no quadro seguinte, notando-se que no caso das que utilizaram cal em pedra esse próprio valor de espalhamento é usado na identificação da composição.

Quadro 1 - Espalhamentos das argamassas

<b>ca</b>	<b>Cvm</b>	<b>cvp44</b>	<b>cvp63</b>	<b>cvp74</b>	<b>cvp85</b>
68	72	44	63	74	85

## 3 - ENSAIOS EFECTUADOS

### 3.1 - Lista dos ensaios efectuados

Para a caracterização do comportamento das argamassas em análise, procedeu-se a um conjunto de ensaios sobre os produtos endurecidos que se indica de seguida:

- determinação das massas volúmicas e porosidades abertas
- determinação das resistências mecânicas à tracção por flexão e compressão
- determinação do módulo de elasticidade dinâmico
- determinação da absorção de água por capilaridade

- determinação da resistência aos sulfatos
- determinação da aderência
- determinação da retracção linear

### 3.2 - Condições de realização dos ensaios

As amassaduras foram realizadas com um misturador de laboratório normalizado e a aplicação da argamassa nos moldes efectuou-se por compactação mecânica, segundo a Ficha de Ensaio Fe 19 [3], tendo sido elaborados provetes com dimensões de 4cmx4cmx16cm, obtidos em moldes metálicos correntes e ainda aplicações sobre tijolo cerâmico para determinação da aderência. Em geral o ambiente de condicionamento e ensaio dos provetes caracterizou-se pelos valores de  $23\pm 3$  °C e  $50\pm 5$  % de humidade relativa.

## 4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DAS ARGAMASSAS

### 4.1 - Determinação das massas volúmicas e porosidades abertas

Os ensaios foram efectuados segundo os métodos preconizados pelas fichas de ensaio Fe 01 [4] para as massas volúmicas aparentes e Fe 02 [5] para a porosidade aberta. Os valores médios são indicados no quadro 2.

Quadro 2 - Massas volúmicas e porosidades abertas

	Massa volúmica aparente (kg/m <sup>3</sup> )		Porosidade (%)	
	60 dias	90 dias	60 dias	90 dias
	<b>ca</b>	1720	1690	34
<b>cvm</b>	1670	1640	35	37
<b>cvp44</b>	1590	1600	39	37
<b>cvp63</b>	1550	1560	40	40
<b>cvp74</b>		1520		41
<b>cvp85</b>		1530		41

### 4.2 - Determinação da resistência à tracção por flexão e da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dinâmico

Os ensaios de determinação da resistência à tracção por flexão e da resistência à compressão foram efectuados com base na técnica referida na Ficha de Ensaio Fe 27 [6]. Os ensaios de flexão foram executados com uma máquina universal de tracção, tendo os ensaios de compressão sido efectuados sobre os meios prismas resultantes dos ensaios de flexão. Os módulos de elasticidade foram determinados dinamicamente através da utilização de um equipamento específico para esse fim que identifica a frequência de ressonância do provete em teste e a converte para unidades convencionais, de acordo com a

Ficha de Ensaio Fe 08 [7]. Os valores médios obtidos para cada argamassa ao fim de 60 e 90 dias são os indicados no quadro seguinte.

Quadro 3 - Valores das resistências à tracção por flexão e à compressão e do módulo de elasticidade dinâmico

	Compressão (MPa)		Flexão (MPa)		Mod. Elasticid. (MPa)	
	60 dias	90 dias	60 dias	90 dias	60 dias	90 dias
<b>ca</b>	0,46	0,75	0,29	0,32	2050	2100
<b>cvm</b>	0,7	1,09	0,39	0,63	2450	3100
<b>cvp44</b>	0,34	0,47	0,17	0,25	1250	1700
<b>cvp63</b>	0,24	0,35	0,15	0,23	1150	1600
<b>cvp74</b>		0,34		0,22		1450
<b>cvp85</b>		0,33		0,22		1550

### 4.3 - Determinação da absorção de água por capilaridade

Os ensaios de determinação da absorção de água por capilaridade foram efectuados com base na ficha de ensaio Fe 06 [8], e consistiram na colocação dos provetes num leito de água de 2 mm de altura e registo dos valores da massa de água absorvida por unidade de área da face imersa em função de  $\sqrt{t}$  (em segundos).

O coeficiente de absorção por capilaridade é dado pelo coeficiente angular da curva traçada a partir dos registos mencionados e os valores assintóticos correspondem aos máximos de absorção (variação entre massas sucessivas menores que 1 %). Os valores obtidos são apresentados no quadro 4 e na figura 1. À data de elaboração deste texto apenas estavam disponíveis os valores relativos aos provetes **ca**, **cvm**, **cvp44** e **cvp63**, ensaiados aos 60 dias de idade.

Quadro 4 - Absorção de água por capilaridade

	Coef. capilaridade (kg/m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup> )	Valor assintótico (kg/m <sup>2</sup> )
<b>ca</b>	0,32	20,7
<b>cvm</b>	0,32*	18,2*
<b>cvp44</b>	1,19	21,22
<b>cvp63</b>	1,29	22,32

\* - Valores relativos ao estudo referido em [1], realizado com cal extinta durante dois meses

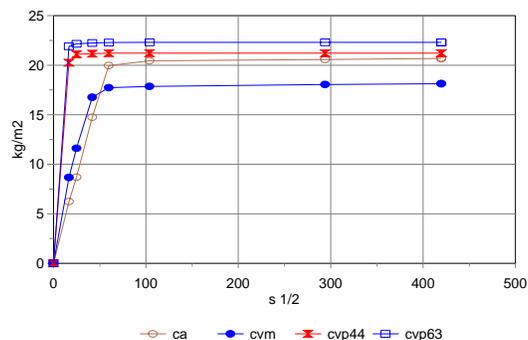


Fig. 1 - Ensaio de capilaridade

#### 4.4 - Determinação da resistência aos sulfatos

O ensaio de determinação da resistência aos sulfatos foi efectuado de acordo com o especificado na Ficha de Ensaio Fe 11 [9] através da colocação dos provetes numa solução de sulfato de sódio anidro a 6% . Com esses provetes procedeu-se alternadamente a ciclos de imersão durante 2 horas e secagem em estufa a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 22 horas. Em cada um desses ciclos foi determinada a perda de massa em relação à massa inicial de cada provete e avaliado o seu estado de integridade. Por razões operacionais os provetes foram ensaiados em idades diferentes, os ca, cvp44 e cvp63 aos 60 dias e os cvm, cvp74 e cvp85 aos 90 dias. Os resultados para cada um daqueles conjuntos são apresentados nas figs. 2 e 3.

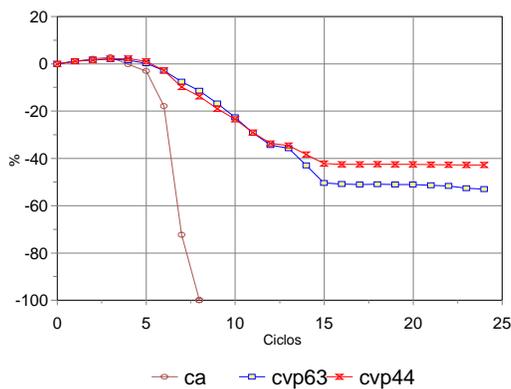


Fig. 2 - Acção dos sulfatos (60 dias de idade)

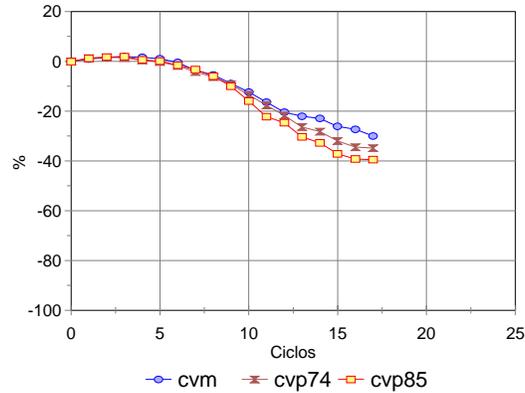


Fig. 3 - Acção dos sulfatos (90 dias de idade)

#### 4.5 - Determinação da aderência

A determinação da aderência, efectuada segundo o disposto na ficha de ensaio Fe 21 [10] em suportes cerâmicos secos, conduziu ao resultados do quadro 5, todos resultantes de roturas de aderência.

Quadro 5 - Valores da aderência (Pa)

ca	cvm	cvp44	cvp63	cvp74	cvp85
0,06	0,09	0,07	0,07	0,05	

#### 4.6 - Determinação da retracção linear

A determinação da retracção linear por secagem foi conduzida segundo o especificado na ficha de ensaio Fe 20 [11] apenas para as argamassas **ca**, **cvp44** e **cvm**, tendo-se obtido os resultados que se apresentam no quadro 6 ao fim de 7, 28 e 90 dias de cura.

Quadro 6 - Variações dimensionais por secagem

	Variações dimensionais (mm/m)		
	7 dias	28 dias	90 dias
<b>ca</b>	- 0,19	- 0,20	- 0,19
<b>cvp44</b>	- 0,33	- 0,39	- 0,38
<b>cvm</b>	- 0,17	- 0,31	- 0,29

## 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos mostra que os provetes de cal micronizada apresentaram sempre resistências mecânicas e módulos de elasticidade mais elevados, seguidos pelos de cal hidratada e pelos de cal em pedra. Neste último caso os resultados são coerentes com os

espalhamentos considerados, na medida em que aqueles valores variam na razão inversa dos teores de água. Os resultados obtidos a 90 dias são consistentes com os dos 60 dias.

Em termos de massas volúmicas e porosidades os valores obtidos apresentam variações de  $170 \text{ kg/m}^3$  e 6 pontos percentuais (para argamassas com espalhamentos equivalentes), decrescendo no primeiro caso das argamassas **ca**, **cmp** às **cvp** e crescendo pela mesma ordem no segundo.

Os resultados (parcelares) da absorção de água por capilaridade não mostram coerência com os da porosidade, o que indicia a existência de porometrias diversas, as quais, contudo, não foram avaliadas.

As maiores surpresas na campanha efectuada resultaram do ensaio de determinação da resistência aos sulfatos. Com efeito detectou-se uma deterioração total e muito rápida dos provetes de cal hidratada, enquanto que nos restantes essa deterioração ocorreu de forma mais lenta até entrar em patamar para perdas de massa de 40 a 50 % no ensaio a 60 dias. Esta constatação inesperada justificou a realização de novos ensaios com provetes existentes numa fase em que tinham 90 dias de idade, a qual, apesar de não completamente concluída, permite ratificar os fenómenos referidos, prevendo-se que o patamar mencionado possa ocorrer para perdas de massa inferiores, da ordem de 30 a 40 %. A melhoria de comportamento observada nestes últimos provetes pode ser justificada pelo facto de terem um maior tempo de cura e, conseqüentemente, taxas de carbonatação mais elevadas.

Estas diferenças de comportamento no que respeita à acção dos sulfatos poderia ser justificada por diferenças de composição química dos calcários originais, em particular no que se refere aos teores de magnésio, o que, contudo, não foi verificado na análise química efectuada, segundo a qual esses teores são equivalentes.

Os valores das aderências são baixos e da mesma ordem de grandeza, com um valor máximo para a argamassa **cvm**. Relativamente às variações dimensionais (efectuadas apenas para três situações) verificam-se comportamentos diferenciados, sendo que o melhor corresponde à argamassa **ca** e o pior a **cvp44**. Deve notar-se que os restantes tipos de argamassas do tipo **cvp** com teores de água superiores não foram ensaiadas, sendo expectável que os valores da retracção sejam mais elevados.

## 6 - CONCLUSÕES

A análise de cais aéreas com processos longos de extinção evidenciou a existência de características benéficas na sua utilização, em particular no que se refere às trabalhabilidades induzidas e ao comportamento face à acção dos sulfatos. Se é certo que perdas de massa da ordem de 30 a 50% são bastante elevadas, não deixa de ser relevante o conhecimento de que após esses valores as perdas de massa entrarão em regime estacionário, podendo portanto assegurar durabilidades mais satisfatórias. Em particular a cal micronizada evidenciou um comportamento global muito satisfatório nos parâmetros analisados.

Os resultados do presente estudo não devem, no entanto, ser generalizados, na medida em que ele não assumiu um carácter sistemático de caracterização dos grandes tipos de cais aéreas existentes no país, devendo antes ser encarados como reveladores de uma tendência que importa avaliar em maior profundidade no futuro.

## REFERÊNCIAS

1. RODRIGUES, Paulina F. - **Estudo comparativo de diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia**, in “1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios”. Porto, FEUP, Março de 2003, pg.207-216.
2. UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA (UNL)/DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL (DEC) - **Análise de argamassas. Determinação da consistência**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1998. Fe 25.
3. UNL/DEC - **Análise de argamassas. Preparação dos provetes**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1996. Fe 19.
4. UNL/DEC - **Pedras naturais e artificiais. Determinação da massa volúmica**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1996. Fe 01.
5. UNL/DEC - **Pedras naturais e artificiais. Determinação da porosidade aberta**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1996. Fe 02.
6. UNL/DEC - **Análise de argamassas. Determinação das resistências à flexão e compressão**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1999. Fe 27.
7. UNL/DEC - **Pedras naturais e artificiais. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1996. Fe 08.
8. UNL/DEC - **Pedras naturais e artificiais. Determinação da absorção de água por capilaridade**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1996. Fe 06.
9. UNL/DEC - **Pedras naturais e artificiais. Determinação da resistência à acção dos sulfatos**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1996. Fe 11.
10. UNL/DEC - **Análise de argamassas. Determinação da aderência**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1997. Fe 21.
11. UNL/DEC - **Análise de argamassas. Variações dimensionais e ponderais**. Monte da Caparica, UNL/FCT, 1997. Fe 20.