

ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES ARGAMASSAS TRADICIONAIS DE CAL AÉREA E AREIA

Paulina Faria Rodrigues*
Correio Electrónico: mpr@fct.unl.pt

Resumo

Afim de se compararem diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia, testaram-se oito composições diferentes, variando a matéria prima (cal aérea) e o traço utilizado.

Apresentam-se os resultados obtidos e ressaltam-se vantagens e inconvenientes relativos à utilização das argamassas com as diferentes cais aéreas aplicadas neste estudo

Palavras-chave: cal aérea hidratada, cal viva, cal micronizada, cal em pasta.

1 Introdução

Os edifícios antigos apresentam geralmente rebocos exteriores com base em argamassas de cal. No entanto, este tipo de argamassas caiu em desuso no nosso país desde o aparecimento das argamassas de cimento Portland, tendo-se chegado ao ponto de em várias regiões já existir dificuldade em obter a matéria prima (cal aérea), ligante principal das argamassas antigamente utilizadas.

Pretendendo contribuir para um melhor conhecimento destas argamassas tradicionais, desenvolveu-se um programa experimental no qual foram avaliadas e comparadas algumas características de argamassas com diferentes cais aéreas como único ligante.

Utilizou-se uma cal aérea hidratada em pó, a mesma cal mas previamente misturada com água e utilizada já em pasta, uma cal viva em pedra previamente extinta e uma cal viva micronizada também extinta atempadamente. Como agregado utilizou-se sempre a mesma areia de rio.

Realizaram-se oito argamassas diferentes obtidas com variação do ligante “cal” utilizado nas composições das argamassas e/ou com alteração do traço

* Assistente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Materiais e Tecnologias da Construção.

ligante:agregado, tendo-se procurado atingir em todas elas um espalhamento comparável.

Foram preparados seis provetes de $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ com argamassa de cada amassadura. Todos os provetes foram ensaiados ao fim de dois meses, após uma cura em ambiente seco e controlado. Três provetes foram utilizados para ensaios mecânicos (módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e resistência à compressão) e ainda para a determinação da massa volúmica e porosidade aberta. Os restantes três provetes, partidos ao meio, foram utilizados para a determinação da absorção de água por capilaridade e para ensaios de resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos.

Apresentam-se os resultados obtidos e as especificidades encontradas com os materiais e composições utilizadas. Salienta-se a grande importância da resistência à acção dos sais em argamassas especialmente vocacionadas para aplicação em reparação de edifícios antigos, e referem-se ensaios em curso para aprofundar outras características relevantes e ainda não analisadas.

2 Estudo Experimental

2.1 Preparação do material utilizado

Como agregado, e para não se entrar em conta com a variabilidade inerente a esse parâmetro (também tão importante), utilizou-se sempre a mesma areia de rio.

As cals aéreas utilizadas foram:

- cal aérea hidratada, ensacada em pó, de marca comercial existente no mercado (**ca**);
- a mesma cal aérea hidratada mas previamente misturada com água, resultando numa cal em pasta (**cap**), utilizada ao fim de 12 meses;
- cal viva em pedra previamente extinta, resultando em outra cal em pasta (**cvp**), utilizada ao fim de 8 meses;
- cal viva micronizada, comercializada ensacada em pó, previamente extinta (**cvmp**), resultando uma cal em pasta que foi utilizada ao fim de 2 meses.

A partir daqui as argamassas e respectivos provetes passam a ser referidos pelo tipo de ligante que as constitui.

2.2 Preparação dos provetes

Na preparação das argamassas procurou-se obter sempre um valor de espalhamento comparável, entre 66% e 74% ($70 \pm 4\%$), realizado de acordo com a ficha de ensaio Fe25 UNL/DEC [1], sendo a compactação dos moldes

realizada mecanicamente, com 20 pancadas em cada uma das duas camadas que preenchem o molde.

Na amassadura das argamassas seguiu-se sempre o mesmo procedimento. A amassadura foi realizada através de uma homogeneização mecânica dos componentes secos de 1 minuto, adição de água e homogeneização mecânica de 2 minutos. Quando era necessário introduzir mais água para atingir o espalhamento pretendido, esta era adicionada e procedia-se a nova homogeneização de mais 1,5 minutos. Nas amassaduras com cal em pasta procedeu-se a uma homogeneização mecânica prévia de 2 minutos só da cal em pasta, seguindo-se depois o procedimento habitual

Os provetes foram sujeitos a cura em ambiente interior não controlado até à data da sua desmoldagem, e daí até à data de ensaio (60 dias) em sala com ambiente controlado a $23\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\% \text{HR}$ – cura seca.

Apresentam-se no quadro seguinte as composições de argamassas (dosagem em volume) e espalhamento obtido.

Tabela 1: Composições de argamassas (dosagem em volume) e espalhamento obtido

ARGAMASSA	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
ca	1	1						
cap			1	1				
cvp					1	1		
cvmp							1	1
areia	2	3	2	3	2	3	2	3
Espalh. (%)	67	74	68	73	66	66	69	68

A trabalhabilidade apresentada pelas diferentes argamassas era de um modo geral bastante boa. No entanto, esta facilidade de manuseamento da argamassa notou-se especialmente no caso das argamassas cvp. Por esta razão entendeu-se permitir a estas argamassas o espalhamento[†] mais reduzido.

2.3 Programa Experimental e Resultados Obtidos

Para uniformidade da metodologia de ensaio, todos os provetes foram condicionados em estufa a 60°C uma semana antes da data de ensaio para atingirem massa constante.

[†] Os valores atingidos para espalhamento destas argamassas mantiveram como valor médio 70% por se inserir num estudo comparativo mais alargado [2] que inclui outros tipos de argamassas, também com base em cal mas incorporando simultaneamente outros tipos de ligantes. Constatou-se que se se pretendesse unicamente uma comparação entre argamassas puras de cal, se poderia ter estabelecido um valor médio de espalhamento inferior, com vantagens inerentes do ponto de vista tecnológico.

Três dos seis provetes realizados com cada amassadura foram utilizados para ensaios mecânicos (módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e resistência à compressão) e ainda para a determinação da massa volúmica e porosidade aberta. Os restantes três provetes, partidos ao meio, foram utilizados para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, e para ensaios de resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos.

Todos os ensaios foram realizados após dois meses de cura dos provetes.

2.3.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico e Resistências à Tracção e à Compressão

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado segundo o procedimento definido na ficha de ensaio Fe08 UNL/DEC [1] e que se baseia na determinação da frequência de ressonância longitudinal, através de equipamento adequado para a emissão de vibrações.

As resistências à tracção por flexão e à compressão foram determinadas segundo os procedimentos definidos na ficha de ensaio Fe27 UNL/DEC [1], sendo a tracção imposta por uma flexão em três pontos e a compressão efectuada sobre cada um dos meios provetes resultantes do ensaio de flexão.

A tabela 2 apresenta os valores obtidos nestes ensaios.

Tabela 2: Módulo de elasticidade dinâmico e resistências à tracção e à compressão

ARGAMASSA	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
E (Mpa)	1928	2302	2601	2748	1503	1592	2456	2415
TRACÇÃO (Mpa)	0,35	0,35	0,38	0,30	0,19	0,19	0,39	0,37
COMPRESS. (Mpa)	0,73	0,65	0,84	0,64	0,38	0,36	0,70	0,57

Constata-se que, de um modo geral, o módulo de elasticidade dinâmico para o mesmo tipo de ligante é superior para o traço com menor teor em cal (1:3) relativamente ao traço com maior percentagem da mesma cal (1:2). Entre os diferentes tipos de argamassas, verifica-se que os mais baixos valores de módulo de elasticidade dinâmico são apresentados pelos provetes cvp, a que se seguem por ordem crescente os provetes ca, os cvmp e os cap. Salienta-se no entanto que todos os valores obtidos se inserem numa faixa de valores baixos entre 1500 MPa e 2600 Mpa, o que deste ponto de vista torna este tipo de argamassas compatíveis com suportes antigos.

Relativamente aos valores obtidos nos ensaios mecânicos de tracção por flexão e de compressão verifica-se que para o mesmo tipo de ligante, e como

seria expectável, os traços mais fracos em cal (1:3) apresentam valores ligeiramente inferiores aos respectivos traços mais fortes na mesma cal (1:2).

No que se refere à tracção os valores mais altos são apresentados pelos provetes cvmp, a que se seguem por ordem decrescente os provetes cap, ca e por fim os provetes cvp. De salientar que todos se inserem numa gama baixa, entre os 0.19 Mpa e os 0.38 Mpa.

Relativamente à compressão verifica-se que os provetes cap e ca apresentam os valores mais altos, com valores muito próximos dos provetes cvmp, continuando os provetes cvp a apresentar os valores mais baixos. Neste ensaio os valores situam-se entre 0.36 Mpa e 0.84 Mpa.

2.3.2 Massa volúmica aparente, porosidade aberta e capilaridade

Estes ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos definidos nas fichas de ensaio Fe01 e Fe02 UNL/DEC [1], através da saturação total em água sob vácuo e método da pesagem hidrostática.

O ensaio para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade foi realizado de acordo com os procedimentos definidos na ficha de ensaio Fe06 UNL/DEC [1], colocando um topo dos seis meios provetes de cada amassadura em 2mm de altura de água potável sobre papel absorvente, dentro de uma caixa fechada, de modo a manter constantes as condições de humidade e reduzir o volume de água evaporada dos provetes. Os provetes foram pesados e os ensaios decorreram até aos provetes ficarem saturados com água absorvida por capilaridade. Os resultados são apresentados num gráfico com a quantidade de água absorvida (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo ($\text{s}^{0.5}$). A absorção de água foi obtida pelo valor assintótico da curva (kg/m^2) e o coeficiente de capilaridade foi determinado pelo declive do segmento de recta definido pelas pesagens iniciais ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$).

A tabela 3 e a figura 1 apresentam os resultados da massa volúmica aparente, porosidade aberta, coeficiente de capilaridade e absorção capilar.

Relativamente aos valores da massa volúmica aparente verifica-se que de um modo geral e como seria expectável, os traços com maior teor em agregado apresentam valores ligeiramente superiores aos apresentados pelo outro traço com o mesmo tipo de ligante. Os valores mais altos de massa volúmica são apresentados pelos provetes ca e cap, seguidos pelos cvmp, sendo os valores mais baixos apresentados pelos provetes cvp.

No que se refere à porosidade aberta constata-se que os provetes com valores mais baixos são os ca, a que se seguem por ordem decrescente os cap e cvmp, sendo os valores mais baixos apresentados pelos cvp. A variabilidade de valores situa-se entre os 33 % e 38 %.

Tabela 3: Massa volúmica aparente, porosidade aberta e capilaridade

ARGAMASSA	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
Massa Volúmica (kg/m ³)	1722	1732	1691	1682	1607	1633	1672	1684
Porosidade (%)	33	33	35	35	38	36	35	35
Coef. Capilaridade (kg/m ² .s ^{0.5})	0,46	0,32	0,21	0,19	0,84	0,71	0,32	0,29
Absorção Capilar (kg/m ²)	20,6	17,9	16,8	15,7	21,0	20,6	18,2	17,2

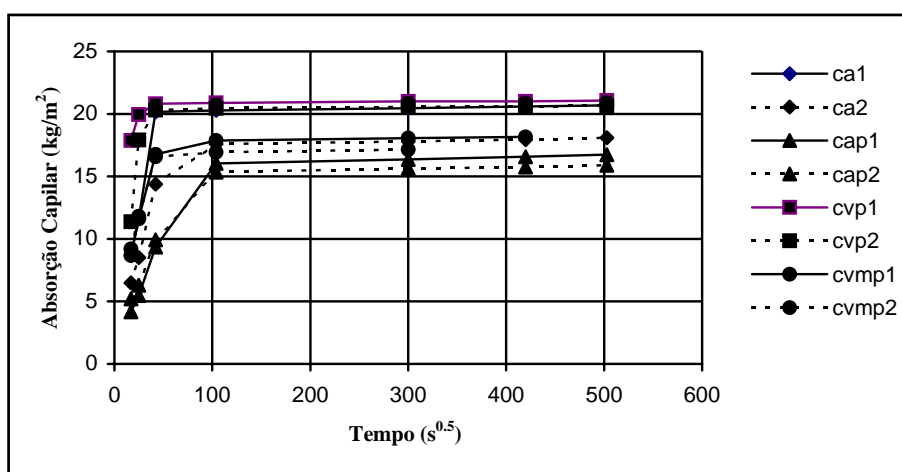


Figura 1: Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Quanto ao coeficiente de capilaridade observa-se que os provetes com maior teor de ligante apresentam maior coeficiente de capilaridade, excepto no caso dos provetes cvp, onde a relação é inversa. Proporcionalmente à porosidade apresentada verifica-se que os provetes cap apresentam os melhores resultados em termos de coeficiente de capilaridade, seguidos dos cvmp, ca e por fim os cvp. Estes últimos são aqueles em que a absorção de água mais rapidamente ocorre nos primeiros instantes do ensaio, logo, em situação real, estas argamassas mais rapidamente absorvem a água da chuva que nelas incide .

Relativamente à absorção capilar, todos os provetes apresentam valores muito próximos salientando-se ligeiramente pela positiva os provetes cap e pela negativa os cvp. Em todos os casos e com seria de esperar, os provetes

com maior teor de ligante apresentam valores relativamente mais altos que os seus pares com maior teor em agregado.

2.3.3 Resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos

O ensaio de resistência aos cloretos foi realizado de acordo com os procedimentos definidos na ficha Fe12 UNL/DEC [1]. Três dos seis meios provetes de cada amassadura, secos até massa constante após o ensaio de capilaridade, foram imersos numa solução saturada em cloreto de sódio por 24 horas, e de novo secos em estufa até atingirem massa constante. Através da diferença entre as massas secas dos provetes antes e após imersão na solução, determinou-se a quantidade de cloretos retidos, em termos de percentagem em relação à sua massa seca inicial. Os meios provetes foram então colocados numa câmara climática onde foram sujeitos a 50 ciclos diários sucessivos de 12 horas a 90% HR e 12 horas a 40% HR (mantendo-se uma temperatura constante de 20°C), determinando-se semanalmente a perda de massa que ía ocorrendo.

O ensaio de resistência aos sulfatos foi realizado de acordo com os procedimentos definidos na ficha Fe11 UNL/DEC [1]. Os restantes três dos seis meios provetes de cada amassadura, secos até massa constante após o ensaio de capilaridade, foram imersos numa solução saturada em sulfato de sódio por 2 horas e de novo colocados em estufa por aproximadamente 22 horas após as quais são pesados e avaliado o seu estado de integridade. Realizaram-se 5 ciclos imersão/secagem/pesagem, apresentando-se a perda de massa percentual ocorrida ao fim do 5º ciclo.

Os resultados dos ensaios de resistência aos cloretos e aos sulfatos são apresentados na tabela 4 e nas figuras 2 e 3, respectivamente. Nos gráficos, a perda de massa percentual é apresentada em função do número de ciclos entretanto decorridos.

Tabela 4: Resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos

ARGAMASSA	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
Cloret.Retidos (%)	4,7	4,3	4,1	3,8	4,3	4,1	4,3	3,8
Perda Massa Cloret. (%)	34,6	43,7	59,8	56,4	33,4	36,3	67,6	57,1
Perda Massa Sulfatos (%)	40,9	100,0	100,0	100,0	15,2	22,5	66,1	89,8

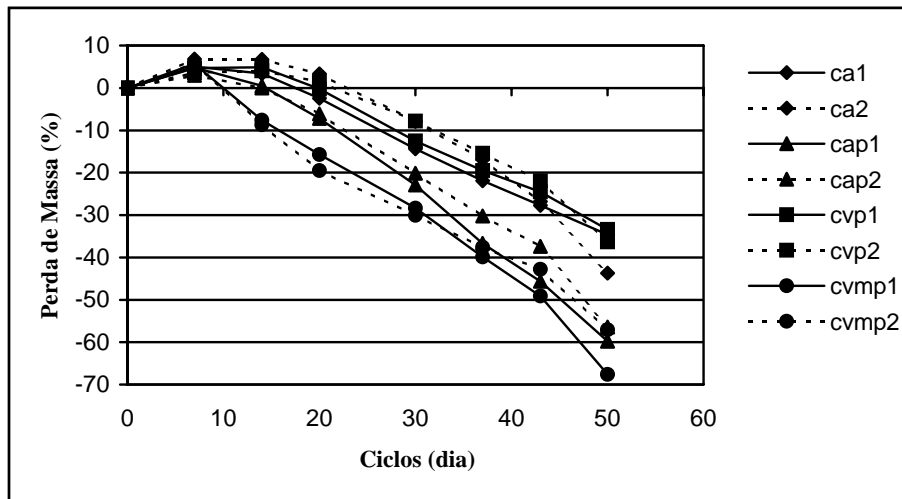


Figura 2: Resistência à cristalização de cloretos

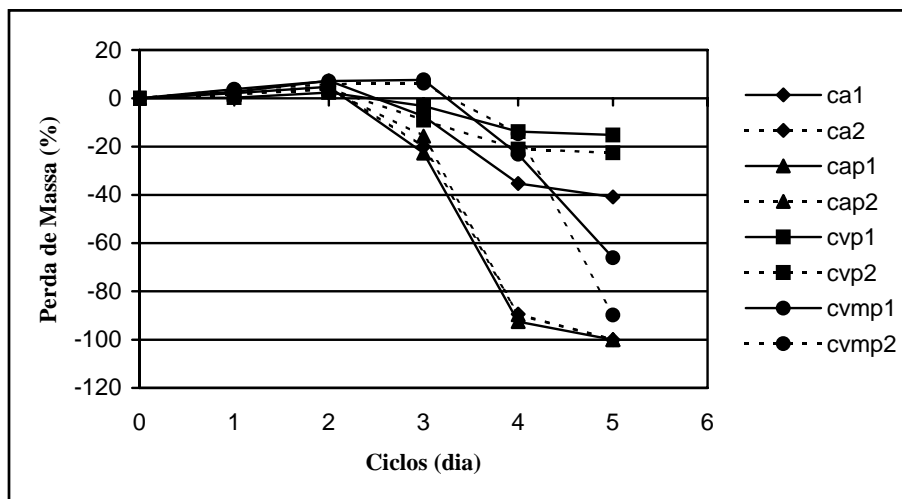


Figura 3: Resistência à ação de sulfatos

Quanto aos valores obtidos no ensaio de resistência à cristalização de cloretos verifica-se um melhor comportamento dos provetes cvp e ca, relativamente aos provetes cvmp e cap. Enquanto os provetes cvp e ca apresentam uma perda de massa sensivelmente superior no traço com menor teor de ligante, os provetes cap e cvmp apresentam uma relação inversa, sendo a perda ligeiramente superior quando o teor em ligante é maior.

Relativamente à resistência à ação dos sulfatos constata-se uma resistência superior nos provetes cvp, para qualquer dos traços. No caso dos

provetes ca, também se regista uma resistência importante especialmente para o traço mais forte em ligante. Os provetes cvmp também apresentam uma resistência significativa a esta acção, especialmente até ao quarto ciclo.

3 Discussão dos resultados

Com base nos resultados obtidos nos ensaios efectuados verifica-se que o acréscimo de mão de obra na preparação prévia da cal aérea hidratada para produção de uma pasta (provetes cap), não se mostrou compensado por melhorias de características, uma vez que os resultados apresentados pelos provetes ca traduzem uma argamassa mais eficiente em termos de resistência aos sais e relativamente semelhante em termos de resistências mecânicas, comparativamente à argamassa cap.

Os provetes cvmp apresentam características intermédias relativamente à capilaridade e aos sais. No entanto para a utilização deste ligante é imprescindível a extinção prévia da cal viva micronizada em água abundante, pelo que em obra é importante que não se confundam os sacos de cal viva micronizada com os de cal aérea hidratada em pó, muitas vezes até produzidas pelo mesmo fabricante. Por outro lado, como esta cal viva chega à obra micronizada e não em pedra, a sua extinção é facilitada, não necessitando de um período de apagamento em água tão longo como o necessário para a cal viva que chega em pedra.

Os provetes cvp apresentam claramente os valores mais baixos em termos de ensaios mecânicos (módulo de elasticidade mecânico, resistências à tracção e à compressão). Paralelamente apresentam valores relativamente superiores em termos de porosidade, com a menor massa volúmica e piores características de capilaridade. Mas simultaneamente são os provetes que apresentam características significativamente melhores no que se refere à resistência aos sais, factor fundamental em argamassas especialmente concebidas para aplicação em suportes antigos.

Também com relativamente boa resistência aos sais e menos bom comportamento face à capilaridade encontram-se as argamassas de cal aérea hidratada comercializada em pó (ca). Este tipo de cal tem a grande vantagem de em obra poder ser incorporada na massa como qualquer outro ligante corrente nos estaleiros actuais (caso dos cimentos e das cals hidráulicas), sem necessidade de processamento prévio (como é o caso da extinção atempada necessária nas cvp).

Como dificuldade na utilização das argamassas cvp é de referir a necessidade e morosidade da extinção da cal em pedra. Esta situação seria facilitada se, tal como sucede em muitos outros países, esta cal viva fosse extinta “industrialmente” e comercializada já em pasta, sabendo-se a data do início da sua extinção.

No entanto, as argamassas cvp apresentam aparentemente ainda outra vantagem relativamente às restantes e nomeadamente às ca. Verificou-se durante a preparação e moldagem dos provetes que especialmente as argamassas cvp apresentavam uma plasticidade e manuseabilidade excelentes, pelo que poderiam ser aplicadas em condições reais com espalhamentos consideravelmente menores aos utilizados. Dessa forma poderiam manter-se com bons níveis de trabalhabilidade (que permitissem a sua aplicação em obra) mesmo incorporando menor quantidade de água na amassadura, com vantagens inerentes ao nível tecnológico, nomeadamente quanto à retracção, factor tão condicionante neste tipo de argamassas[‡].

Esperava-se que este tipo de argamassas de cal aérea fosse muito susceptível à acção dos sais, devido à sua elevada porosidade e baixas resistências mecânicas. No entanto, a campanha experimental desenvolvida mostrou diferenças significativas de comportamento entre as argamassas resultantes dos diferentes tipos de cal aérea, em que melhores resistências à acção dos sais não estavam directamente relacionados com as mais altas resistências mecânicas. É disto exemplo o caso das argamassas de cal em pasta obtida através de extinção de cal viva em pedra. Esta situação pode ser explicada através da porometria que este tipo de argamassa pode ter, com uma dimensão de poros tal que permita a cristalização dos sais e seu consequente aumento de volume, sem exceder significativamente a dimensão do poro onde ocorre.

Este mesmo tipo de argamassa fez sobressair uma característica muito importante, que se refere à excelente plasticidade apresentada pela massa fresca, e que permite aplicar em obra as argamassas com uma menor quantidade de água de amassadura (tal como antigamente eram aplicadas, por aperto à talocha), com vantagens inerentes do ponto de vista das características finais.

4 Conclusões

A campanha experimental permitiu verificar a diferente plasticidade conseguida com argamassas de cal e areia de idênticos traços e semelhante espalhamento; fez sobressair a importância deste factor porquanto nas

[‡] Enquanto em argamassas com ligantes hidráulicos parte da água de amassadura é necessária para a hidratação do ligante, neste tipo de argamassas de ligantes aéreos a cura processa-se por carbonatação do ligante em contacto com o dióxido de carbono do ambiente, pelo que a água (que só pode ser “desaparecer” por sucção do suporte ou evaporação para o ambiente) deverá ser a mínima possível para permitir a aplicação da argamassa.

argamassas de maior plasticidade se pode conseguir boa trabalhabilidade com menor quantidade de água de amassadura.

Os resultados dos ensaios efectuados possibilitaram aferir que as melhores resistências à acção dos sais não estavam directamente relacionadas com as melhores resistências mecânicas; surgiu então a porometria como possível explicação para este comportamento diferenciado.

As características apresentadas pelas argamassas de cal ao longo do programa experimental justificam a necessidade de comparar mais alguns parâmetros importantes, para além daqueles a que se chegou com os testes realizados. Deste modo, decorrem ensaios complementares de modo a averiguar o comportamento destas argamassas incorporando menor quantidade de água de amassadura e ainda testes relativos à retracção, aderência, carbonatação, retenção de água e permeabilidade ao vapor.

5 Agradecimentos

A autora agradece a colaboração no trabalho experimental das alunas Paula Albuquerque e Ana Brás da licenciatura em Engenharia Civil da FCT.

6 Bibliografia

- [1] Henriques, F. *Pedras naturais e artificiais. Análise de argamassas*. Fe 01, 02, 06, 08, 11, 12, 15, 19, 25, 27 UNL/DEC UNL/FCT. Caparica, 1996 a 2002 (especificações de ensaio).
- [2] Rodrigues, P.; Henriques, F. *The effect of hydraulic components on lime mortars*, XXX IAHS World Congress on Housing, 2002, Coimbra, Portugal, Eds.O. Ural, V. Abrantes, A. Tadeu, pp.1711-1718.
- [3] Henriques, F.; Charola, E. *Comparative study of standard test procedures for mortars*, 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlim, 1996 (Moller Druck), pp1521-1528.