

A CONSERVAÇÃO DE REBOCOS ANTIGOS - RESTITUIR A COESÃO PERDIDA ATRAVÉS DA CONSOLIDAÇÃO COM MATERIAIS TRADICIONAIS E SUSTENTÁVEIS

Martha Lins Tavares (1); M^a do Rosário Veiga (2);

- (1) Restauradora, Doutoranda em Arquitectura, Estagiária de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Bolseira FCT; Lisboa, Portugal, marthal@lnec.pt
(2) Engenheira Civil, Doutora em Engenharia Civil, Investigadora Principal do LNEC, Lisboa, Portugal. rveiga@lnec.pt

RESUMO

O estudo dos revestimentos exteriores no âmbito da conservação e do restauro tem adquirido nos últimos anos grandes avanços metodológicos, técnicos e científicos. Estes revestimentos são elementos importantes da estrutura edificada, pois além de possuírem uma função protectora, possuem muitas vezes uma função decorativa de grande relevância para a imagem do monumento.

A manutenção destes revestimentos passa pela conservação de técnicas construtivas tradicionais e pelo uso de materiais compatíveis e o mais similares possível aos originais.

Nesta comunicação descreve-se um conjunto de técnicas e materiais usados para a consolidação da falta de coesão com base em depósitos de carbonato de cálcio, apresenta-se um conjunto de ensaios para avaliar a respectiva eficácia, analisam-se os resultados obtidos e em conclusão se faz uma reflexão sobre a aplicabilidade destas técnicas. Mediante os resultados obtidos apresenta-se ainda um conjunto de propostas para ensaios futuros. Esta comunicação integra-se no Projecto *Conservação de rebocos de cal: melhoria das técnicas e materiais de reparação* (FCT | POCTI / HEC / 57723/2004)¹.

Palavras-chave: argamassas de cal, técnicas de restauro, consolidação, água de cal

1. INTRODUÇÃO

A conservação dos revestimentos exteriores constituídos por cal é de grande importância para a estrutura edificada, não só devido a questão estética, como também pelo valor que eles representam para a história dos materiais e da tecnologia das construções, fazendo parte assim da imagem arquitectónica.

Sabe-se que durante as obras de restauro muitos destes revestimentos antigos são removidos indiscriminadamente, muitas vezes por falta de conhecimento técnico sobre a viabilidade do seu restauro, outras vezes por se pensar que é mais económica a sua substituição por um reboco novo.

Deste modo o objectivo principal deste estudo é contribuir para definir uma metodologia de restauro conservativa, usando estratégias de manutenção dos revestimentos e das técnicas construtivas tradicionais, onde haja uma intervenção mínima, utilizando materiais compatíveis com os originais.

Durante este estudo verificou-se que uma das principais formas de degradação destes revestimentos é a falta de coesão, ou seja, a perda da resistência mecânica de camadas de reboco, devida ao enfraquecimento das ligações entre partículas, provocando o surgimento de várias outras anomalias como: descamação, desagregação e pulverulência.

Escolheram-se técnicas de consolidação com base em depósitos de carbonato de cálcio como método para a preservação destes revestimentos. O objectivo específico deste estudo é a avaliação do aumento da resistência mecânica e da capacidade de protecção à água destas argamassas após o tratamento de

¹ Esta investigação insere-se no âmbito da tese de Doutoramento *A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edifícios antigos – uma metodologia de estudo e reparação que Martha Lins Tavares está desenvolvendo no LNEC e na FA/UTL, com o apoio da FCT* (Fundação para Ciência e Tecnologia).

consolidação, procurando através de uma melhoria tecnológica estudar a viabilidade técnica e económica do uso de práticas tradicionais e sustentáveis.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

Neste estudo foram ensaiados três tipos de consolidantes, todos eles vocacionados para produzirem um aumento da resistência mecânica e da compacidade das argamassas através de depósitos de carbonato de cálcio (ao qual se junta o aluminato de cálcio num dos casos) na superfície do revestimento: *água de cal simples*, *água de cal aditivada* e *bactérias biomineralizadas*.

ÁGUA DE CAL SIMPLES - é o tratamento de consolidação mais antigo de que se tem conhecimento. Vitruvius, no seu tratado, já descrevia esta técnica *Album opus ejecutado com cal y mucha agua limpia* (GÁRATE, 1994). A sua eficácia é contestada por alguns autores, mas é ainda utilizada por alguns técnicos, por exemplo na Dinamarca muitas pinturas murais são consolidadas com água de cal e em Praga esta técnica tem sido usada ultimamente em rebocos. Diversos estudos científicos têm sido realizados comprovando a sua eficácia (BRAJES, 1999). Apresenta como principais vantagens a compatibilidade com as argamassas de cal e o seu custo reduzido. O método consiste em sucessivas aplicações de uma solução de hidróxido de cálcio sobre o revestimento. O hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono reconvertendo-se em carbonato de cálcio, o qual precipita nos poros do material reduzindo o volume de vazios. (CASAL, 2001).

ÁGUA DE CAL ADITIVADA – foi usado o metacaulino como aditivo para a formação de compostos de carácter hidráulico na água de cal e conseqüentemente melhorar a sua resistência mecânica. O metacaulino é um mineral obtido a partir do caulino por tratamento térmico e moagem, resultando num material de elevada pozolanicidade, capaz de se combinar com o hidróxido de cálcio produzindo compostos hidráulicos (VELOSA, 2006).

BACTÉRIAS – desde 1992 que investigações estão sendo realizadas sobre a consolidação através de diferentes tipos de bactérias para a consolidação da pedra, mas até ao momento não se tem conhecimento do seu uso para consolidação de revestimentos de cal e areia. Neste estudo foi usado o produto desenvolvido pela Calcite Bioconcept². O processo consiste na biomineralização das bactérias não patogênicas em laboratório. A seguir uma solução que contém bactérias calcificadas é pulverizada sobre a superfície a ser tratada e durante vários dias seguintes a cultura bacteriana é alimentada com um nutriente líquido com base em levedura de cerveja, que incentiva o desenvolvimento dos microorganismos e lhes permite gerar e depositar o carbonato na superfície do revestimento devolvendo a resistência mecânica perdida. (ORIAL, 1999)

2.1 A preparação dos produtos

A água de cal usada encontrava-se armazenada em um balde hermeticamente fechado há quase dez anos. O metacaulino usado foi o *MetaStar 501* da Imerys. A proporção adicionada de metacaulino à água de cal foi a mesma da cal usada na *água de cal simples*. Para isto procurou-se saber a quantidade de cal existente em 1 litro de água de cal, através da secagem em estufa do líquido, e encontraram-se 2g de cal; assim, foi também esta a quantidade de metacaulino adicionado à água de cal. Fez-se também a secagem da *água de cal aditivada* com o metacaulino, e numa primeira observação à vista desarmada verificou-se que os dois produtos apresentam estruturas diferenciadas (figs. 1 e 2): o resíduo da *água de cal simples* apresentou-se em forma de pó (carbonato de cálcio) com formação de pequenos cristais, enquanto o resíduo da *água de cal aditivada* apresentou cristais em forma de placas e em maior quantidade. O consolidante com base em bactérias desmineralizadas foi preparado segundo informações do fabricante, e é composto por dois produtos, que são dissolvidos em água: a bactéria desmineralizada e o nutriente (fig. 3).

O pH dos consolidantes foi medido, e os valores encontrados apresentam-se no Quadro 1.

² A Calcite Bioconcept é uma empresa francesa que desenvolveu este produto juntamente com o Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques e Université de Nantes (laboratório de Microbiologia), muitos edifícios e monumentos históricos franceses já foram consolidados através desta nova tecnologia. Para mais informações consultar o site: www.calcitebioconcept.com

Quadro 1 - Valor do pH dos consolidantes

Produto	pH (mm)
Água de cal simples	10,3
Água de cal aditivada	7,3
Bactérias	4,6



Fig. 1 Resíduo após secagem da água de cal simple



Fig. 2 Resíduo após secagem da água de cal aditivada



Fig. 3 O produto consolidante com base em bactérias desmineralizada

2.2 Aplicação dos produtos em provetes, muretes e reboco antigo

Os produtos foram aplicados em três locais distintos:

- ◆ Em provetes de diferentes tipos e dimensões confeccionados com argamassa de cal e areia na proporção volumétrica de 1:3, para posteriores ensaios em laboratório: provetes cilíndricos com diâmetro de 200mm e altura de 20mm; provetes prismáticos com 40mm x 40mm x 160mm.
- ◆ Em muretes, ao ar livre, sobre argamassa de cal + pozolana com problemas de falta de coesão.
- ◆ Sobre um reboco antigo de cal, de um edifício do séc. XVIII, com problemas de falta de coesão, para posteriores ensaios *in situ*.

Antes da aplicação dos produtos foi feita a medição da cor da argamassa com o atlas NCS (Natural Color System). O produto foi primeiramente aplicado sobre os provetes em laboratório numa sala condicionada a uma temperatura de 23°C de temperatura e 50% de humidade relativa através da técnica de pulverização, com um *spray* manual, a uma distância aproximada de 50cm; após cada aplicação os provetes e o *spray* foram pesados para a verificação do consumo. A aplicação foi interrompida quando se verificou que o provete estava aparentemente saturado, ou seja quando a face posterior do provete estava completamente molhada, o que aconteceu aproximadamente com 25 aplicações. Os provetes ensaiados tinham duas formas e dimensões distintas, apresentando os provetes cilíndricos uma área da face a consolidar de 0,0314 m² enquanto os provetes prismáticos apresentavam uma área de 0,0064 m². Para cada uma desta área foram consumidos aproximadamente 400ml e 250 ml de água de cal.

A área de aplicação do produto nos muretes e reboco antigo foi de 0,036 m², a aplicação foi ao ar livre com uma temperatura de 26°C e humidade relativa de 65%; a técnica de aplicação foi também a pulverização sendo interrompida quando se observou o excesso de fluido na superfície, o que aconteceu após 30 aplicações em cada zona. Para esta área foram consumidos aproximadamente 500 ml de água de cal.

3. ENSAIOS IN SITU E DE LABORATÓRIO

Para além da variação de cor realizaram-se *in situ* ensaios de resistência mecânica e de permeabilidade à água testados e validados em trabalhos anteriores (Magalhães, 2002 e VEIGA, 2000).

1 - Medição da cor – A medição da cor foi realizada através de um atlas de cor NCS (Natural Color System) antes e depois da aplicação do consolidante, para verificar se houve mudança no aspecto estético do revestimento.

2 - Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão (Tubos de Carsten) - A permeabilidade à água foi medida antes e depois da aplicação do consolidante para verificar o impacto das alterações sofridas (fig. 6). (RILEM – *Water absorption under low pressure. Pipe method. Test N° II.4, Tentative Recommendations*. Paris, RILEM, 1980).

3 - Ensaio de penetração controlada - Este ensaio, realizado antes e depois do tratamento da consolidação, destinou-se a avaliar a resistência do revestimento e obter informação sobre a resistência mecânica das camadas internas.

4 - Ensaio para avaliação da resistência mecânica – A avaliação da resistência mecânica das camadas superficiais de reboco antes e depois da consolidação foi realizada através de ensaios com um esclerómetro de pêndulo (baseado nas normas ISO 7619:1997 e ASTM C 805) e com um durómetro (baseado na norma ASTM D22240) (figs. 4 e 5).

5- Controle dos sais – A medição semi-quantitativa de sais presentes no revestimento foi realizada antes e depois da aplicação do consolidante, para verificar se este vai ou não introduzir sais na parede. Este ensaio foi realizado com fitas colorimétricas (fig. 7).

Ensaio de laboratório já realizados:

1- Permeabilidade ao vapor de água - para verificar em que medida a argamassa consolidada pode continuar a ser atravessada pela água que circula na parede do edifício, sob forma de vapor (EN 1015 –19:1998).

2 - Absorção de água por capilaridade - para verificar qual a alteração na capacidade de absorver a água por capilaridade da argamassa consolidada. (EN 1015 –18:2000)

3 - Resistência à flexão - para avaliar a resistência mecânica introduzida pelo consolidante (EN1015:11).

4- Penetração do consolidante - para avaliar a profundidade de penetração do consolidante (PRICE,1984)³ foram realizados ensaios sobre provetes através da aplicação de um agente medidor de pH; neste caso usou-se a fnoftaleína, que tem um ponto de viragem entre 8 e 10, sendo a profundidade de penetração medida através da diferença de cores (PINTO, 2002).

Ensaio de laboratório a serem realizados:

1 - Porosimetria de mercúrio – para verificar o resultado da consolidação da argamassas, ou seja, a alteração introduzida na estrutura porosimétrica pela aplicação do consolidante

2 - Envelhecimento artificial acelerado: ciclos climáticos / UV - para observar as alterações do consolidante ao longo do tempo (VELOSA e VEIGA, 2006).

3 -Ensaio de coesão sobre provetes – realizado através de fitas adesivas, para avaliar a coesão do revestimento antes e depois do tratamento da consolidação (NP e EN ISO 2409:1995.)

4- Ensaio químicos de algumas amostras das argamassas (antes e depois do tratamento) - MEV - DFRX - Estratigrafia - para observar e avaliar o comportamento dos diferentes tipos de consolidante.

³ Price no seu artigo sobre consolidação com água de cal refere que um bom consolidante deve penetrar pelo menos até 25mm. PRICE, C. A. – *La consolidation du calcaire par compresse de chaux et eaux de chaux*, in: *Adhesifs et consolidants*, X Congrès International, IIC, Paris, September 10984, p.169-171.



Fig. 4 ensaio com esclerómetro de pêndalo e durómetro



Fig. 6 Tubos de Carsten



Fig. 7 identificação de sais

4. SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

A realização dos ensaios foi realizada antes do tratamento e após 3 meses de aplicação dos consolidantes. Apresentam-se a seguir os quadros e figuras com os principais resultados obtidos antes e após a aplicação do consolidante, verificando assim o estado de conservação actual destes revestimentos.

4.1 Observação da alteração cromática sobre o revestimento

A cor dos provetes, do reboco antigo e do reboco dos muretes foi avaliada antes e depois da consolidação, os resultados obtidos apresentam-se no quadro 2.

Quadro 2 – Identificação cromática das argamassas

Identificação da cor <i>Atlas NCS index2</i>	Locais observados		
	Reboco antigo séc. XVII (reboco de cal + areia)	Muretes (reboco de cal + pozolana com 05 anos)	Provetes (cal + areia 1:3)
Cor antes	S 1005 Y 50 R	S 1000 N	S 0500N
Cor após consolidação	S 1005 Y 50 R	S 1000 N	S 1020 Y 20 R

4.2 Observação da introdução de sais

Foi realizada a medição semi-quantitativa de sais sobre os provetes, reboco antigo e muretes antes e após a consolidação, os resultados obtidos apresentam-se no quadro 3.

Quadro 3 – Determinação semi-quantitativas de sais com fitas colorimétricas

Localização	Antes da consolidação	Após aplicação dos consolidantes		
		Água de cal simples	Água de cal aditivada	Bactérias
Reboco antigo séc. XVII (reboco de cal + areia)	Negativo para Nitratos, Sulfatos e Cloretos	Negativo para Nitratos, Sulfatos e Cloretos		Negativo para Sulfatos e positivo para Nitratos e Cloretos
Muretes (reboco de cal + pozolana com 05 anos)				
Provetes (cal + areia:3)				

4.3 Avaliação da profundidade da penetração do consolidante

Foi realizada a avaliação da profundidade dos consolidantes sobre os provetes, os resultados apresentam-se no quadro 4.

Quadro 4 – Avaliação da penetração do consolidante com agente medidor de pH

	Consolidantes		
	Água de cal simples	Água de cal aditivada	Bactérias
Penetração	4mm	3mm a 4mm	9mm a 10mm

4.4 Avaliação do comportamento à água

Para verificar o comportamento à água das argamassas consolidadas foram realizados ensaios *in situ* sobre o reboco antigo e muretes e ensaios de laboratório sobre os provetes. O ensaio *in situ* realizado foi o de permeabilidade à água a baixa pressão com tubos de carsten, e os ensaios de laboratório foram os de permeabilidade ao vapor de água e o de absorção de água por capilaridade. Apresentam-se a seguir nos gráficos 1, 2 e 3 e nos quadros 5 e 6 os principais resultados obtidos.

Gráficos 1 e 2- Permeabilidade à água – ensaios com tubos de carsten

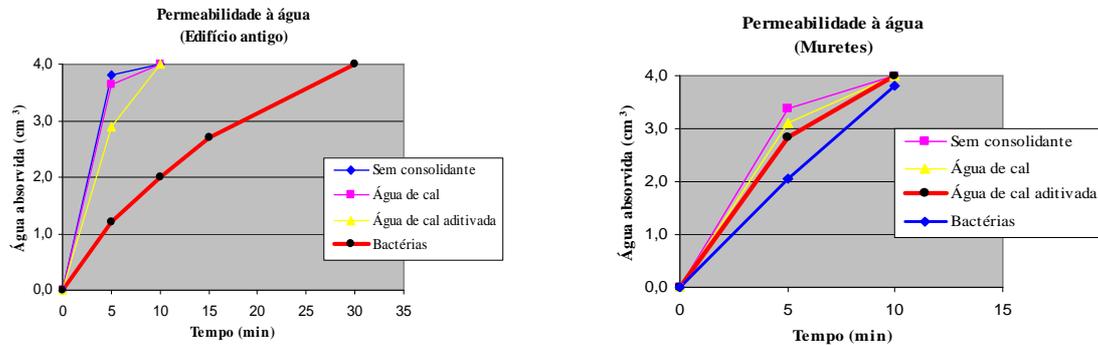
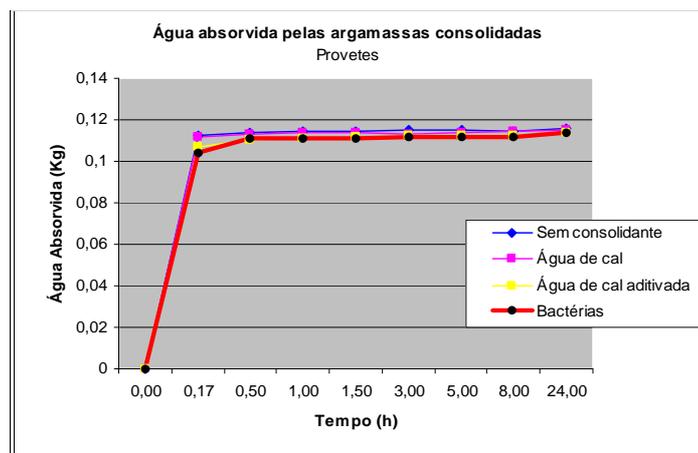


Gráfico 3- Água absorvida pelas argamassas consolidadas



Quadro 5 Coeficiente de capilaridade

	Sem consolidante	Água cal simples	Água de cal aditivada	Bactérias
	Cof.Cap (Kg/m ² .h ^{1/2})			
Entre 10 e 90 min	0,07	0,07	0,18	0,29

Quadro 6 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água - Sd médio das argamassas consolidadas

Provetes consolidados	Sd (m)* médio das argamassas
Água de cal simples	0,07
Bactérias	0,07
Água de cal aditivada	0,06
Proвете sem consolidante	0,06

*Onde **Sd** é a espessura da camada de ar de difusão equivalente(m) a 10 mm de argamassa

4.5 Avaliação da resistência mecânica *in situ*

Para avaliar o aumento da resistência mecânica sobre as camadas superficiais de reboco *in situ* nos muretes e no reboco antigo houve alguma dificuldade, quer na escolha do ensaio quer na interpretação dos resultados, exigindo uma grande quantidade de amostragem, já que a consolidação realizada é bastante superficial. Os melhores resultados (permitindo maior diferenciação) foram alcançados com o ensaio realizado com esclerómetro de pêndulo modelo Schmidt PM⁴, que avalia uma camada mais espessa e com o durómetro Shore A, que faz a avaliação das camadas mais superficiais⁵. Os resultados sintetizam-se nos quadros 7 e 8.

4 O equipamento usado é homologado pelo Instituto de Materiais de Construção e Estruturas de Delft (Holanda), este modelo é ideal para resistências mais baixas que o cimento correspondentes a 5 N/mm² (725 PSI) e uma energia de percussão de 0.883 Nm. In: *Ficha Técnica do Equipamento*.

5 Antes da escolha deste ensaio foram realizados ensaios com Choque de Esfera, Penetração Controlada e Ensaios de coesão (riscagem e abrasão) não se obtendo resultados fiáveis. O ensaio com Durómetro foi adaptado a partir de ensaios realizados sobre outros materiais. Neste ensaio, o durómetro mede a resistência, tomada como a medida da dureza, à penetração de um pino pressionado contra o material pela acção de uma mola sob carga padronizada. Um ponteiro move-se através de uma escala variando de 0 a 100, para mostrar a resistência à penetração. O durómetro Shore A é usado para os materiais macios e o Shore D para os duros. In: www.poliuretanos.com.br/Cap8/8125Compressao.

Quadro 7 – Avaliação da coesão das camadas superficiais do reboco com esclerómetro de pêndulo⁶

Localização	Consolidantes			Sem consolidante
	Água de cal simples	Água de cal aditivada	Bactérias	
Reboco antigo	33,6 VH*	33,4 VH	36,2 VH	22,2 VH
Muretes	43,9 VH	38,6 VH	48,5 VH	36,9 VH

* Vickers HV = Dureza em graus Vickers (kg/mm²).

Quadro 8 – Avaliação da coesão das camadas superficiais do reboco com Durómetro^{*7}

Localização	Consolidantes			Sem consolidante
	Água de cal	Água de cal aditivada	Bactérias	
Reboco antigo	59 shore	65,2 shore	66,4 shore	37,1 shore
Muretes	63,0 shore	62,8 shore	62,6 shore	50,2 shore

* Unidade de medida escala Shore A de 0 a 100.

4.6 Avaliação da resistência mecânica em laboratório

Para avaliar a resistência mecânica introduzida pelo consolidante em laboratório foram realizados ensaios de resistência à flexão e à compressão sobre provetes. O consolidante foi aplicado só numa das faces, sendo as outras seladas para não haver uma evaporação rápida do mesmo. Os resultados apresentam-se no quadro 9.

Quadro 9 - Avaliação da resistência mecânica - Ensaio de Flexão e Compressão

Ensaio	Consolidantes			Sem consolidante
	Água de cal simples	Água de cal aditivada	Bactérias	
Flexão	0,34 N/mm ²	0,43 N/mm ²	0,43 N/mm ²	0,07 N/mm²
Compressão	0,84 N/mm ²	0,82 N/mm ²	0,67 N/mm ²	0,16 N/mm²

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O estudo para verificar a viabilidade e eficácia de consolidantes com base em água de cal e bactérias de argamassa antiga com falta de coesão ainda está em curso, no entanto destacam-se a seguir alguns pontos considerados relevantes durante o estudo:

- Mudança de cor sobre o revestimento consolidado: os resultados apresentados no quadro 2 permitiram concluir que apenas os provetes consolidados com as *bactérias* mudaram de cor; a camada de revestimento tornou-se ligeiramente “amarelada”, provavelmente por causa do nutriente – levedura de cerveja – que apresenta esta cor amarela na sua origem. Esta diferença de cor não foi visível no reboco do edifício antigo que apresenta uma coloração creme nem nos muretes em que a argamassa apresenta uma cor mais acinzentada.
- Introdução de sais no revestimento através de medições semi-quantitativas com fitas

⁶ Para comparação foram realizados ensaios sobre argamassas de cimentos obtendo-se valores de 119,8 e sobre argamassa de cal e areia em bom estado de conservação obtendo-se valores de 61,2.

⁷ Para comparação foram realizados ensaios sobre argamassa de cal e areia em bom estado de conservação obtendo-se valores de 88,7.

colorimétricas: os ensaios realizados antes da consolidação deram negativos para todas os tipos de sais em todos os rebocos. O ensaio realizado após a consolidação continuou a dar negativo para os consolidantes *água de cal simples* e *água de cal aditivada*, enquanto sobre o consolidante bactérias deu positivo para Cloretos e Nitratos, conforme os resultados apresentados no quadro 3.

- Avaliação da profundidade de penetração do consolidante: observou-se através dos resultados apresentados no Quadro 4 que o consolidante com maior penetração foi o *bactérias*, seguido da *água de cal simples* e da *água de cal aditivada*.
- Comportamento à água das argamassas consolidadas: os ensaios de permeabilidade à água a baixa pressão com tubos de carsten realizados *in situ*, cujos resultados se ilustram nos gráficos 1 e 2, demonstraram que o reboco antes da consolidação é altamente permeável, continuando, após a consolidação, quer no edifício antigo quer nos muretes, a apresentar uma boa permeabilidade à água; entretanto os valores foram ligeiramente diferenciados: o único consolidante que apresentou permeabilidade inferior ao do revestimento antes do tratamento foi *bactérias*; o consolidante que apresentou permeabilidade à água mais elevada foi a *água de cal pura*.
- Absorção de água por capilaridade sobre os provetes em laboratório: os resultados deste ensaio, que se apresentam no gráfico 3, mostram que os provetes consolidados apresentam resultados semelhantes, com algumas diferenças notadas. Os provetes consolidados com *bactérias* foram os que absorveram menos água por capilaridade, seguidos dos consolidados com *água de cal aditivada*; e finalmente dos consolidados com *água cal simples* que apresentaram valores iguais à argamassa sem consolidante; os coeficientes de capilaridade confirmam estas conclusões (quadro 5).
- Permeabilidade ao vapor de água sobre os provetes em laboratório: este ensaio, cujos resultados se apresentam no quadro 6, demonstrou que os consolidantes aplicados não constituem uma barreira à difusão do vapor de água, apresentando valores semelhantes à argamassa sem consolidante.
- Resistência mecânica *in situ*, nos muretes e reboco antigo: os ensaios usados para esta avaliação, cujos resultados se apresentam nos quadros 7 e 8, permitiram verificar que as argamassas consolidadas apresentaram um aumento da resistência, entretanto os valores observados para os vários consolidantes foram muito próximos, com algumas diferenças notadas. O ensaio com esclerómetro de pêndulo demonstrou que a argamassa consolidada com as *bactérias* apresentou o maior aumento da resistência mecânica, seguida da argamassa consolidada com *água de cal simples* e finalmente da argamassa consolidada com *água de cal aditivada*. No caso do ensaio com durómetro, a argamassa consolidada com as *bactérias* continuou a demonstrar um maior aumento da resistência mecânica, seguida da argamassa consolidada com *água de cal aditivada* e da argamassa consolidada com *água de cal simples*.
- Resistência mecânica em laboratório: os ensaios de Flexão e Compressão sobre provetes mostraram um aumento significativo da resistência mecânica, como se observa através dos resultados sintetizados no quadro 9. Os provetes consolidados com *água de cal aditivada* foram os que apresentaram uma maior resistência mecânica seguidos dos consolidados com *bactérias* e com *água de cal simples*.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O uso do metacaulino como aditivo na água de cal baixou consideravelmente a alcalinidade do produto.

Foi observado que a *água de cal aditivada* ao secar forma um produto com cristais em forma de placas, o que pode ser um factor negativo para a penetração do consolidante. De facto, a *água de cal aditivada* foi o produto que obteve uma menor penetração, apesar da pouca diferença entre consolidantes. Este consolidante apresentou ainda uma menor resistência mecânica nos ensaios realizados *in situ*, o que pode ser devido à reduzida penetração, mas também pode ser resultado do facto dos ensaios *in situ* não estarem ainda completamente ajustados, encontrando-se ainda numa fase de experimentação.

Entretanto, no ensaio de Flexão em laboratório, os provetes apresentaram um considerável

aumento da resistência mecânica.

- O consolidante *bactéria* foi o que apresentou o menor índice de pH.

Apresentou também um maior poder de penetração e conseqüentemente o maior aumento de resistência mecânica tanto nos ensaios *in situ* sobre o reboco antigo como nos ensaios de laboratório sobre provetes.

Verificou-se que este consolidante produziu de sais (Cloretos e Nitratos) e originou uma ligeira mudança de cor sobre o reboco consolidado. Estes aspectos consideram-se desvantagens significativas para o seu uso em revestimentos antigos, julgando-se mesmo que a introdução de sais podem inviabilizar essa aplicação.

- Todos os consolidantes apresentaram um bom comportamento à água, com diferenças mínimas entre si, tanto na forma de vapor, como na forma líquida, através dos ensaios de permeabilidade e de capilaridade. Assim, as argamassas consolidadas, não constituem barreira nem à entrada nem à evaporação da água nas alvenarias antigas.
- Podemos constatar com este conjunto de ensaios que o consolidante *água de cal simples* de facto aumenta, ao nível superficial das camadas, a resistência mecânica das argamassas, contrariando algumas opiniões que duvidam da eficácia deste produto. Observou-se que a adição à água de cal de um produto que promove uma certa hidraulicidade aumentou, em alguns casos, a sua eficácia. Assim, devido extrema compatibilidade química da água de cal com o revestimento tratado, parece valer a pena investir na melhoria da sua eficiência, continuando esta investigação com a adição de outros aditivos.
- A escassez de estudos anteriores sobre a consolidação de rebocos antigos, faz com que tenhamos de testar e repetir diversos métodos de ensaios *in situ*; constatando-se com esta primeira campanha, que se continua a obter dificuldades em quantificar *in situ* o aumento da resistência mecânica sobre as primeiras camadas de reboco, já que a consolidação realizada é bastante superficial e os ensaios talvez ainda não sejam os mais adequados; continuar a aperfeiçoar a aplicação destes métodos é um dos nossos objectivos.
- Com a continuidade deste estudo pensa-se poder criar materiais viáveis económica e ecologicamente e promover o uso de tecnologias e materiais tradicionais, através de novas interpretações e desenvolvimentos.
- Com este estudo o LNEC tem como objectivo aprofundar os conhecimentos nesta área e difundirlos pelo meio técnico nacional e internacional, de forma a contribuir para uma melhoria das intervenções de conservação em revestimentos de paredes antigas, através do uso de materiais tradicionais e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAJES, Isabelle, Kalsbeek, Noline. **Limewater absorption and calcite crystal formation on a limewater-impregnated secco wall painting**, in Studies and Conservation, Vol.44, nº 3, London: IIC, 1999, p.145-156.

CASAL, Milene Gil. **Conservação de pintura mural – estudo e consolidação de argamassas de cal aérea e areia com falta de coesão**, Lisboa: LNEC, 2001.

Gárate, Ignacio. Artes de la cal, Madrid: Didot, 1994.

MAGALHÃES, A Cristian et als. **Diagnosis of anomalies of wall renderings. Experimental techniques for in situ application**. Proceeding of XXX IAHS World Congress on Housing, Coimbra, Portugal, 9-13 September. 2002.

ORIAL, Geneviève. **Las Bacterias arquitectas. El método de la biomineralización y otros sistemas de microbiología aplicados en la restauración**. In: II Congreso Internacional Restaurar a La Memoria, Valladolid, Novembro de 2000.

PINTO, A. Paula Patrício. **Conservação de Pedras Carbonatadas – estudo e selecção de**

tratamentos, tese para obtenção de grau de Doutor em Engenharia Civil, UTL, Lisboa, 2002.

PRICE, C. A. – **La consolidation du calcaire par compresse de chaux et eaux de chaux, in: Adhesifs et consolidants**, X Congrès International, IIC, Paris, September 1984, p.169-171.

VEIGA, M. Rosário et als. **Experimental characterisation of lime based rendering and repointing mortars. Definition of relevant laboratorial and “in situ” tests**. Athens: National Technical University of Athens, 2000.

VELOSA, Ana; VEIGA, M. Rosário – **Development of artificial ageing tests for renders – application to conservation mortars**. Proceedings of 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006.

VELOSA, A. – **Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas**. Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Julho de 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição durante o estudo dos investigadores Dr. Santos Silva, Eng Paula Rodrigues e Eng Susana Bravo do Departamento de Materiais do LNEC. Agradecemos ainda a Bolseira Dora Santos no apoio aos ensaios e a bolseira Ana Fragata no apoio dado na elaboração dos gráficos.