

INJEÇÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DE CONSTRUÇÕES EM TERRA. REVISÃO DO CONHECIMENTO E MÉTODOS DE ENSAIO

Eduarda Luso*

Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal,
Email: eduarda@ipb.pt

Paulo B. Lourenço

Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal
Email: pbl@civil.uminho.pt

Rui Miguel Ferreira

Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal
Email: rmf@civil.uminho.pt

Tema 4: Património e Conservação

Palavras-chave: Caldas fluidas, Injecções, Consolidação

Resumo

A reparação de construções existentes, com valor patrimonial ou não, em alvenaria ou em terra, é uma tarefa na qual interferem inúmeros factores e que, por isso, deverá recorrer-se a matérias-primas e a técnicas específicas, avaliadas caso a caso. Um dos processos possíveis para reforço deste tipo de construções pode ser a injeção de materiais adequados como caldas fluidas à base de cimento e cal. Este processo é também normalmente usado para aplicação em cabos de pré-esforço, consolidação de alvenarias de pedra, reforço de solos, etc. No entanto, a definição da composição de uma calda que seja compatível com as características do suporte, bem como a determinação da sua adequada aplicação nos elementos a consolidar, constituem obstáculos à utilização desta técnica, devido à influência dos numerosos parâmetros envolvidos, como sejam a forma e dimensões dos materiais constituintes, a composição química, a porosidade, a capacidade de absorção, a percentagem de vazios, a dimensão e o grau de comunicação dos vazios, entre outros. Ensaio laboratoriais para a determinação das propriedades mais importantes das caldas de injeção em função do tipo de suporte são assim essenciais para assegurar a eficiência destes materiais em trabalhos de reparação e reforço. Poder-se-á, desta forma, verificar qual a calda mais adequada para um determinado uso específico e prever resultados de aplicação e de comportamento final dos elementos de alvenaria ou em terra.

Descrevem-se neste artigo as técnicas de injeção aplicadas em paredes assim como alguns ensaios realizados para a caracterização física e mecânica das caldas de injeção, pré-doseadas ou elaboradas "in-situ", relacionados com a reologia e fluidez destes materiais no estado fresco, bem como outros ensaios com vista à caracterização do seu desempenho mecânico.

1. Introdução

A construção em terra encontra-se em todo o mundo. Em zonas onde a pedra ou madeira não era muito abundante optou-se pela utilização da terra para erguer pequenos e grandes edifícios e, por vezes, cidades inteiras. O maior número de construções em terra em Portugal, em geral edifícios pequenos, concentra-se, em especial, no Alentejo, Sul e Ilhas, embora em todo o País se possa encontrar esta solução construtiva, realizada essencialmente com três técnicas distintas: a taipa, o adobe e o tabique.

Apesar do seu baixo custo, do seu processo de construção simples e das suas características térmicas e acústicas excelentes, estes edifícios construídos em terra demonstraram ao longo dos últimos anos um comportamento fraco face aos sismos ocorridos, causando milhares de vítimas em todo o mundo.

Estas construções em terra são ainda particularmente vulneráveis a outros fenómenos naturais tais como inundações e pluviosidade. Técnicas e disposições construtivas adequadas assim como a melhoria de algumas propriedades através de diferentes processos de estabilização de solos, que permitem conferir às construções em terra

determinadas características específicas, poderão contrariar algumas das suas propriedades como o seu elevado peso, a reduzida resistência mecânica e o comportamento frágil.

Relativamente a estruturas já existentes, estas reflectem o estado do conhecimento à data da sua construção, podendo possuir erros de concepção ou execução grosseiros e escondidos, e podendo possuir danos desconhecidos devidos a acções do passado (incluindo sismos) [1]. A escolha da melhor técnica de intervenção nestes casos, quer seja mais tradicional ou mais inovadora, deve ser bem estudada caso a caso, devendo, no entanto, optar-se, de preferência, por técnicas menos invasivas e mais compatíveis com a estrutura, tendo em consideração as exigências de segurança e durabilidade, tal como é indicado nas recomendações de ICOMOS [2].

As diferentes possibilidades de intervenção para reforçar uma parede em alvenaria ou em terra incluem [2]:

- (i) O refechamento das juntas da alvenaria existente, consolidação da parede com argamassa de injeção do tipo “grout”;
- (ii) A inclusão de armaduras metálicas, verticais ou longitudinais;
- (iii) A remoção e reposição do material deteriorado;
- (iv) O desmonte e a reconstrução, parcial ou total.

A consolidação através de injeções de caldas ou argamassas tipo “grout”, objecto de análise neste artigo, permite a reparação de fracturas e áreas com perda física de material dos elementos em terra, e permite a melhoria das suas propriedades mecânicas, em geral, por consequência do aumento da coesão. Constitui, no entanto, uma técnica de carácter irreversível pois engloba trabalhos que não poderão ser removidos ou substituídos. O critério desta reversibilidade em intervenções de conservação e restauro, é referida pela necessidade de proteger os monumentos e edifícios de transformações incorrectas, que sejam resultado, inclusive, de intervenções de consolidação [3]. Esta necessidade de manter a reversibilidade nas intervenções estruturais e construtivas, que deverão abranger trabalhos em que, em qualquer momento, o objecto sobre o qual se actuou se possa despojar da actuação e voltar ao momento anterior à sua realização, já tinha sido referida nas primeiras reflexões de Cesari Brandi [4], às quais se seguiram as recomendações da Carta de Veneza e do ICOMOS [2].

No entanto, esta técnica tem a particularidade de produzir um impacto mínimo e não compromete intervenções posteriores, indo de encontro ao referido em [2], que recomenda que a “reparação é sempre preferível à substituição”.

A reparação deste tipo de estruturas em terra deverá incluir ainda, e, em complemento: a realização ou reparação de superfícies protectoras da estrutura, (ex: coberturas) e a remoção de elementos intrusivos [5].

2. Técnicas de injeção

A injeção de uma calda fluida de argamassa de cimento, de cal ou de resinas orgânicas, em orifícios previamente efectuados nas paredes ou já existentes, tem como objectivo o preenchimento de cavidades, sejam elas fissuras ou vazios interiores. Esta técnica, é mais eficaz se nos elementos a intervir, existe uma rede comunicante entre os vazios, ou seja, o que se denomina por *porosidade aberta*. A consolidação, com este tipo de argamassas, para a estabilização e reforço de estruturas debilitadas por diversos factores, poderá, então, constituir uma das soluções possíveis.

No caso de estruturas mais vulneráveis do ponto de vista mecânico, a injeção das caldas, não deverá ser efectuado numa altura superior a 1 metro/dia, para evitar excessivas pressões hidrostáticas das caldas que poderiam danificar a estrutura [6].

A injeção, se possível, deverá ser feita dos dois lados da parede, a baixa pressão, em orifícios ligeiramente inclinados, não coincidentes nas duas faces, e de preferência ao longo de fendas existentes promovendo o seu preenchimento com calda ver Figura 1. A distância entre dois orifícios de injeção consecutivos depende do tipo e espessura da alvenaria, assim como dos danos que ela apresenta. Estes parâmetros influenciam igualmente o diâmetro dos orifícios, onde são aplicados tubos plásticos transparentes entre 1,0mm e

10,0mm de diâmetro, através dos quais se injecta a calda. No caso dos vazios não serem directamente acessíveis pelo exterior haverá que atingi-los com furos adequadamente dispostos, isto é, com furos na parte inferior, que serão os de injeção, e na parte superior, que serão os de saída e purga de ar, de modo a garantir injeção ascendente.

Aquando da injeção deverão ser registados os seguintes elementos [6]: (i) Numeração dos orifícios desde a base até ao topo; (ii) Registo das entradas e saídas de material; (iii) Volume de material gasto; (iv) A existência ou não de variações de pressão durante a injeção.

Deste modo, esta técnica constitui uma técnica de reforço irreversível mas “passiva” pois não engloba operações que alterem o equilíbrio de forças. O aspecto original exterior das paredes é respeitado pelo que é uma solução, frequentemente, utilizada em edifícios de reconhecido valor artístico e/ou arquitectónico, sempre que seja necessário intervir, e preservar o aspecto original [7].

3. Propriedades das caldas de injeção

As intervenções de conservação e reforço estrutural em monumentos e edifícios históricos, ou até mesmo em construções antigas de estrutura simples, englobam quase sempre trabalhos perturbadores do “equilíbrio” inicial em que se encontram, representando um risco para a sua integridade e autenticidade [8]. Este risco aumenta com a aplicação, a estes casos, de técnicas inovadoras e materiais modernos, que se afastam rapidamente da prática tradicional sem haver formação e conhecimento específico da matéria.

Deste modo, a decisão de aplicar novos materiais assim como novas técnicas de reforço, baseadas em tecnologias avançadas, não pode ser tomada de ânimo leve. A investigação experimental deverá ser realizada antes da intervenção, não só ao nível do comportamento mecânico, como também relativamente a propriedades físicas e químicas de todos os intervenientes, quer seja dos materiais novos quer seja da estrutura existente.

A aplicação de caldas ou argamassas fluidas por injeção em paredes ou pilares de construções antigas deve basear-se em estudos prévios que permitam avaliar o estado em que se encontra a estrutura, as dimensões das cavidades e fissuras existentes, bem como a identificação dos materiais existentes, nomeadamente o seu estado de degradação, as suas características físicas (granulometria) e a sua composição química. As condições da estrutura e o seu grau de deterioração determinam, de certa forma, o tipo de reforço e de calda que é necessário [9]. Faz sentido referir aqui a definição dada por [10], relativamente à definição de calda de injeção (“grout”) mais generalizada e que faz, apenas, referência à sua principal função: «*Uma calda de injeção “grout” é uma argamassa utilizada no preenchimento, homogeneização, consolidação e /ou na melhoria das propriedades mecânicas de sistemas que apresentem cavidades, vazios, fendas ou falta de coesão ou de sistemas totalmente não coesos*». Esta definição deixa em aberto a opção de escolha dos materiais constituintes das misturas, bem como as suas propriedades quer no estado fresco quer no estado endurecido.

Só poderão ser obtidos bons resultados na aplicação desta técnica se os materiais novos a injectar forem compatíveis com elementos tão heterogéneos como sejam os elementos em terra, ou seja, sem causar alterações profundas na estrutura e no meio onde vão ser aplicados. Uma adequada compatibilização entre a calda ou argamassa de injeção e o meio onde vai ser aplicada, constitui um factor muito importante, pois poderá evitar-se nova deterioração relacionada com o comportamento mecânico ou por reacções químicas com o material existente já deteriorado [9].

Definem-se de seguida as propriedades mais importantes para a caracterização de caldas de injeção e que devem ser consideradas para assegurar a eficiência destes materiais em trabalhos de reparação e consolidação.

Fluidez – capacidade de permanecer no estado fluido por tempo suficiente, enquanto ocorre a difusão homogénea nas cavidades; a fluidez depende fundamentalmente da distribuição granulométrica dos grãos, da natureza, forma e superfície específica das partículas, da percentagem de água de amassadura e do método de mistura da calda [6].

Estabilidade – capacidade de permanecer homogénea, antes de ocorrer a *exsudação* (“bleeding”) e a *segregação*. A estabilidade de uma calda ou argamassa de injeção está dependente da velocidade em que é executada a amassadura e varia com a adição de fluidificantes, redutores de água ou aerómetros (introdutores de ar). A estabilidade pode ser melhorada pela introdução de finos, como cal, cinzas volantes, sílica de fumo. Estes materiais podem ajudar no controlo da segregação e “bleeding” (exsudação). Pode afirmar-se que conseguir a estabilidade na concepção de uma argamassa ou calda de injeção é um objectivo fundamental pois constitui a condição para a qual se obtêm as mesmas propriedades em todos os locais no seio do material quando este passa do estado fresco para o estado endurecido [10].

Exsudação – migração de água para a superfície, com a formação de uma película de água superficial. Está essencialmente ligada com a relação água/ligante e com a distribuição granulométrica do ligante. Este fenómeno prejudica em parte a qualidade da injeção destes materiais, pois a parte superior de um poro injectado pode não ficar consolidada devido a esta migração de água em excesso para essa zona.

Segregação – tendência para os materiais se posicionarem segundo estratos. Depende essencialmente da forma, dimensão e densidade das partículas e também da quantidade de água utilizada.

Todas estas propriedades enumeradas estão entre si relacionadas. Isto porque, por um lado, a estabilidade depende essencialmente de dois factores: o início da segregação e o aparecimento da exsudação. Mas por sua vez, como estas últimas interferem na homogeneidade da mistura alterando também a viscosidade, a fluidez é, então, também dependente da estabilidade da mistura. Sendo a fluidez uma grandeza que está relacionada com a viscosidade está, então, também dependente da concentração volumétrica da parte sólida e da sua granulometria. De facto, a fluidez é influenciada pela forma das partículas, que aumenta se as partículas são esféricas, e pela finura do material que, embora permita uma melhor permeabilidade entre as cavidades mais pequenas, reduz a fluidez.

Injectabilidade – traduz a capacidade de escoamento da mistura e de manter tal característica por um certo período de tempo o qual permita uma injeção fácil do elemento. Este poder de penetração da calda ou argamassa depende de numerosos factores quer sejam as suas características intrínsecas (por exemplo a granulometria da parte sólida da mistura), quer sejam a morfologia do suporte (absorção/adsorção) e os materiais constituintes (dimensões e forma, superfície específica e módulo de finura). A máxima dimensão das partículas que constituem a calda deverá ser consideravelmente mais pequena do que a abertura dos orifícios ou diâmetro dos vazios a ser preenchido. Isto porque, segundo [12], há que considerar o atrito provocado pela forma irregular das partículas, a ligação electrostática entre partículas e a aglomeração imediata das partículas finas devido ao fenómeno de hidratação.

Características mecânicas – As características mecânicas destas caldas deverão ser, tanto quanto possível, as mais adequadas ao elemento onde vão ser aplicadas. Se, por um lado, deverão contribuir para uma substancial melhoria da coesão e resistência mecânica do conjunto, por outro lado esta contribuição não deverá ser muito desproporcional ao que já existe. É necessário aumentar a resistência mecânica do conjunto, mas não demasiado a rigidez do conjunto, particularmente no caso da intervenção se fazer em parte da estrutura e não na sua totalidade, de modo que o fluxo de forças não seja substancialmente alterado.

Além das características acima especificadas, outras devem ser tidas em conta na aplicação destas misturas. No Quadro 1 apresentam-se, de uma forma resumida, os principais requisitos que devem obedecer as caldas e argamassas de injeção, (adaptado de [13]).

Quadro 1 – Resumo dos requisitos a garantir às caldas de injeção

Requisitos Reológicos	<ul style="list-style-type: none">• Pretende-se fluidez durante tempo suficiente e capacidade de penetração uniforme, de modo que todos os vazios sejam preenchidos de igual forma - injectabilidade (propriedades caracterizadas pela homogeneidade, ausência de grumos, com granulometria inferior à dimensão dos vazios a preencher, baixa viscosidade, baixo ângulo de contacto, etc.);• De preferência ausência de segregações (para evitar heterogeneidades);• A exsudação deve ser mínima, para diminuir a presença de vazios quando a mistura estiver no estado endurecido;
Requisitos Químicos	<ul style="list-style-type: none">• Deverá ter características químicas estáveis no tempo, ou seja, ser capaz de formar ligações químicas fortes com o material existente, através de reacções irreversíveis;• Deverá ser resistente aos sais de sulfato, de modo a evitar a formação de produtos expansivos e eflorescências;• O teor de alcális deverá ser mínimo;
Requisitos Físicos	<ul style="list-style-type: none">• O tempo de início de presa deverá ser adequado ao tempo para necessário à execução da injeção;• As propriedades higroscópicas deverão ser: insolubilidade em água e estabilidade volumétrica na presença de humidade;• Pretende-se que a calda tenha uma retracção baixa;
Requisitos Mecânicos	<ul style="list-style-type: none">• As características de resistência mecânica e, essencialmente, de rigidez deverão ser similares aos materiais originais ou apenas ligeiramente superiores;• As caldas e argamassas deverão ter boa e adequada aderência ao suporte para o bom funcionamento do conjunto;
Requisitos Térmicos	Pretende-se que a calda tenha baixo calor de hidratação para evitar o desenvolvimento de gradientes térmicos que possam prejudicar a aderência ao suporte.

4. Requisitos de uma calda para injeção tipo “grout”. Métodos de Ensaio

4.1 A Fluidez

Para determinar a fluidez das caldas de injeção poderá proceder-se à realização de ensaios através de um funil cónico de dimensões normalizadas [15][17] e calibradas, onde se regista o tempo de escoamento de determinado volume de calda. Este tempo de escoamento depende simultaneamente, da viscosidade, da rigidez e do peso volúmico da calda. Apesar de não haver uma correlação directa com as outras propriedades físicas da calda, constitui um parâmetro bastante útil, na prática, por definir bem as possibilidades do seu escoamento. No entanto, sabe-se que quanto mais longo for o tempo de escoamento, menor é a sua fluidez [14]. Segundo [14] o tempo de escoamento depende não só do tipo de material em estudo, mas também é afectado pela geometria do cone utilizado no ensaio. A geometria deste cone é, curiosamente, muito variável. O mais conhecido é o Cone de Marsh, referido em vários estudos, mas cujas dimensões referidas diferem igualmente, ver Figura 2. Para consistências das caldas mais elevadas, utilizam-se outros tipos de funis-cones com as dimensões distintas e com diâmetro de saída do funil crescente com essa consistência: desde 8mm para o cone Mécasol e 14mm para o cone Prepakt.

O estado da superfície interior do funil e, principalmente, o estado de ligação entre o cone e a ponteira do funil, tem grande influência nos resultados obtidos. Outro parâmetro que influencia os resultados deste ensaio é a temperatura quer seja da água de amassadura da calda quer seja a temperatura ambiente.

Para a realização deste ensaio é registado o tempo de escoamento total da calda através do cone e ainda o tempo de escoamento necessário para encher um recipiente de 1 litro de capacidade. Este último procedimento é baseado em [15].

4.1 A Exsudação

Enchendo um recipiente de calda, com um volume conhecido, pode verificar-se, ao longo do tempo, o aparecimento de água à superfície da suspensão, com uma linha de separação água - calda em geral muito nítida, e com a altura da água crescendo com o tempo, pelo menos na fase inicial do processo. Estes ensaios permitem verificar o fenómeno de exsudação e segregação das caldas de injeção e, desta forma, caracterizar a estabilidade destes materiais.

Após a realização do ensaio anterior com o cone de Marsh, um dos procedimentos de ensaio possíveis [15] consiste em encher uma proveta com capacidade de 100ml diâmetro de 25mm e 250mm de altura graduada em ml, até perfazer 95 a 100ml. A proveta deverá ser coberta com filme plástico para evitar a evaporação e três horas mais tarde é medida a altura de água em ml à superfície da calda de injeção, ver Figura 3. Existem, contudo, outras normas e recomendações para a execução deste ensaio (exemplo de [17]), que após a sua adopção deverá ser utilizado na totalidade das caldas em estudo.

A norma *NP EN 447* [16] especifica no ponto 2. *Exsudação* (Ensaio de provetes de 25mm ou 50mm de diâmetro), que após 3 horas do fim da amassadura a exsudação deverá ser inferior a 2% do volume inicial. Segundo [6] e no caso de aplicação de caldas de injeção em paredes de alvenaria de pedra, considera-se excessivo quando a exsudação é superior a 5%.

A altura de água à superfície e a sua variação com o tempo é dependente de muitos parâmetros, sendo os mais importantes a rigidez e a tixotropia da suspensão, e ainda a inclinação do recipiente e das suas paredes e a altura da suspensão. Para este último parâmetro a percentagem de decantação, diminui com o aumento da altura inicial da suspensão [18].

4.2 A Resistência mecânica

Para a caracterização mecânica destas caldas bem como a evolução do seu endurecimento ao longo do tempo, deverão ser moldados provetes prismáticos de $16 \times 4 \times 4 \text{cm}^3$ para a realização de ensaios à compressão e flexão, com idades diferenciadas (por exemplo, com 28, 90 e 180 dias de idade), ver Figura 4. Neste ensaio será também possível verificar o fenómeno de retracção destes materiais, pois é bem visível, por vezes, a separação das caldas das paredes dos moldes.

4.3 A Injectabilidade

A avaliação da capacidade de penetração de uma calda num meio semelhante ao da sua aplicação "in-situ" deverá ser cuidadosamente avaliado. Para o efeito, deverão ser injectados moldes preenchidos com material granular de diferentes dimensões, semelhante ao material que constitui a construção a consolidar.

A pressão utilizada para enchimento dos moldes de 1,0-3,5 bar deverá ser constante recorrendo se possível à utilização de um equipamento adequado para o efeito denominado correntemente por "*pressure pot*", ver Figura 5. A pressão utilizada não deve ser excedida para não danificar os elementos construtivos, que em geral se encontram débeis, de forma a melhorar as suas propriedades mecânicas e a durabilidade da intervenção, mas sem criar efeitos não desejáveis.

4.4 Caracterização do comportamento terra+calda

A avaliação física e mecânica do conjunto, após o endurecimento, deverá ser igualmente considerado. Desta forma, é essencial a moldagem de provetes terra+calda, com características geométricas e dimensionais apropriadas à realização de ensaios mecânicos, nomeadamente, determinação da resistência à compressão, determinação do módulo de elasticidade, ensaios de compressão diametral, entre outros, que poderão caracterizar mecanicamente o conjunto. Os provetes poderão ser aproveitados dos ensaios de injectabilidade referidos em 4.4.

A caracterização física dos moldes resultantes da injeção de caldas no seio de material granular semelhante ao esperado “in-situ” poderá passar pela observação visual ou (no caso de se pretender uma inspecção mais detalhada) uma análise microscópica do conjunto ou ensaios específicos, para avaliar a quantidade e volume de vazios existentes no interior e sua dimensão, bem como forma e dimensão de fissuras.

5. Conclusões

A construção em terra é a técnica construtiva mais antiga e mais amplamente utilizada pelo Homem em todo o Mundo. Em traços gerais, uma construção em terra possui características térmicas e acústicas muito boas, mas é um material com fraca resistência em presença de água e face às acções horizontais, apresentando limitações no desenvolvimento em altura. O melhoramento do comportamento mecânico destes elementos pode ser conseguido através da introdução de elementos de reforço, tal como a injeção de caldas fluidas, pré-doseadas ou elaboradas “in-situ”, na totalidade da estrutura ou em parte, consolidando e resolvendo problemas de fendilhação e degradações.

A definição da composição de uma calda que seja compatível com as características do suporte, constitui um obstáculo que se coloca à utilização desta técnica, devido à influência dos numerosos parâmetros envolvidos que caracterizam as paredes, como sejam a forma e dimensões dos elementos envolvidos, a composição química, a porosidade, a capacidade de absorção, a percentagem de vazios, a dimensão e o grau de comunicação dos vazios, entre outros.

Deverá, por este motivo, ser dada particular atenção à compatibilidade entre os materiais originais e os materiais novos a usar nesta técnica, não podendo deixar de se efectuar uma série de ensaios, alguns muito simples, às caldas de injeção e ao conjunto calda+terra, de modo que o resultado final seja satisfatório e evitando, de futuro, o aparecimento de reacções adversas.

Bibliografia e Notas

- [1] Lourenço, P. B., *As estruturas de Terra e os Sismos*, disponível em www.civil.uminho.pt/masonry
- [2] Icomos, 2001, *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. Versão portuguesa disponível em www.civil.uminho.pt/masonry
- [3] Casielo, S., 2006, *Strengthening for Preservation*, Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi
- [4] Luso, E., 2004, *Breve história da teoria da conservação e do restauro*. Revista de Engenharia Civil, número 20, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho
- [5] Warren, J., 1993, *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures. A handbook*. ICOMOS International Committee on Earthen Architecture.
- [6] Vintzileou, E., 2006, *Grouting of Three-Leaf Stone Masonry: Types of Grouts, Mechanical Properties of Masonry before and after Grouting*. Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi.
- [7] Roque, J.A., 2002, *Reforço e reabilitação estrutural de paredes de alvenarias antigas*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2002. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry
- [8] Lourenço, P.B., 2001, *Reabilitação de Construções Antigas – Casos Práticos*. I Seminário de Materiais de Construção, Patologia e Reabilitação da Construção, Universidade do Minho
- [9] Perret et al., 2003, *Formulation of high-performance cement grouts for the rehabilitation of heritage masonry structures*. Third International Conference On Grouting and Grout Treatment, New Orleans, Louisiana
- [10] Toumbakari, E., 2002, *Lime-Pozzolan-Cement Grouts and their Structural Effects on Composite Masonry Walls*, PhD Thesis, Dept Burgerlijke Bouwkunde, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- [11] Toumbakari, E., 2005, *Experimental investigation and analytical modelling of the effect of injection grouts on the structural behaviour of three-leaf masonry walls*. Structural Analysis of historical Constructions.
- [12] Miltiadou, 1990 em Valluzzi, 2000, *Comportamento Meccanico di Murature Consolidate Con Materiali e Tecniche a Base di Calce*. Tesi de Dottorato, Università Degli Studi di Trieste
- [13] Valluzzi, M.R., 2000, *Comportamento Meccanico di Murature Consolidate Con Materiali e Tecniche a Base di Calce*. Tesi de Dottorato, Università Degli Studi di Trieste
- [14] Roussel et al., 2005, *The Marsh Cone: a test or a rheological apparatus?* Cement and Concrete Research 35, 823-830, Elsevier.
- [15] NP EN 445, *Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio*
- [16] NP EN 447, *Caldas de Injeção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes*.
- [17] ASTM C940, *Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory*.
- [18] Coelho S., 1996, *Tecnologia de Fundações*. Editor: Escola Profissional Gustavo Eiffel

Autores

Eduarda Luso, Licenciada pela FCT da U. de Coimbra e Mestre em Engenharia Civil pela U. do Minho. Assistente de 2º Triénio na ESTiG do Instituto Politécnico de Bragança, actualmente em trabalhos de Doutoramento na U. do Minho, na área dos materiais e construções antigas.

Paulo B. Lourenço, Licenciatura em Eng^a Civil (FEUP, 1990). Doutoramento (Univ. Tec. Delft, Holanda, 1996). Professor Catedrático, Responsável do Grupo de Estruturas e Director de Departamento, Dep. Eng^a Civil da Univ. Minho. Editor de "Int. J. Arch. Heritage". Coordenador de Mestrado Europeu Erasmus Mundus sobre Análise Estrutural de Monumentos e Construções Antigas.

Rui Miguel Ferreira, Licenciatura em Eng^a Civil (Univ. Minho, 1998). Mestrado em Eng^a Civil (Univ. Minho, 2000), Doutoramento (Univ. Minho, 2004). Professor Auxiliar, Responsável pelo Laboratório de Materiais de Construção, Dep. Eng^a Civil da Univ. Minho.



Figura 1 – Injecção de um provete de Adobe (cortesia de M. Blondet, PUCP, Peru)



Figura 2 – Escoamento de uma calda através do cone de Marsh



Figura 3 – Ensaio de exsudação de uma calda



Figura 4 – Ensaio de compressão das caldas de injeção



Figura 5 – Equipamento de injeção “pressure pot”