

Avaliação *in situ* do comportamento de rebocos exteriores de argamassas de terra com baixas adições de cais

Tânia Santos^{1,2,*} 

Paulina Faria^{1,2} 

António Santos Silva³ 

¹ CERIS - Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

³ Departamento de Materiais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil, n.º 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

*tr.santos@campus.fct.unl.pt

Resumo

As argamassas de terra estão presentes nalguns mercados da construção devido a inúmeras vantagens, nomeadamente económicas e ecológicas. Portugal tem um vasto património de construção com terra, sendo estas argamassas as mais adequadas para a sua reabilitação e conservação. No entanto, embora tenham sido realizados alguns estudos sobre o comportamento deste tipo de argamassas, pouco é conhecido sobre a durabilidade destas quando aplicadas no exterior. O objectivo deste estudo é avaliar a influência da adição de baixas quantidades de cais (aérea ou hidráulica natural) e da lavagem da areia na durabilidade de argamassas à base de terra aplicadas como reboco de paredes exteriores. Os resultados obtidos não evidenciam melhoria das características mecânicas e físicas dos rebocos de argamassa de terra com estas adições e lavagem. Assim, para melhorar o desempenho deste material, nomeadamente face à água no estado líquido, recomenda-se o estudo de outras adições, adjuvantes ou protecções de superfície.

Palavras-chave

Terra
Cal aérea
Cal hidráulica natural
Reboco
Durabilidade
Ensaio *in situ*

In situ evaluation of the behaviour of earth-based mortar renders with low additions of limes

Abstract

Earth mortars are present in several building materials markets because of numerous advantages, particularly economic and ecological. Portugal has a vast earthen built heritage and these mortars are the most suitable for their rehabilitation and conservation. However, although some studies have been carried out on the behaviour of this type of mortars, little is known about their durability when applied outdoors. This study aims to assess the influence of adding low amounts of limes (air lime or natural hydraulic lime) and using washed sand on the durability of earth-based mortars applied as external wall renders. The results obtained did not show any improvement on the mechanical and physical characteristics of earth mortar renders with these additions and the washed sand. Therefore, to improve the performance of this material, namely towards liquid water, other additions, admixtures or surface protections should be studied.

Keywords

Earth
Air lime
Natural hydraulic lime
Render
Durability
In situ test

ISSN 2182-9942



Introdução

Desde o período pré-histórico que existem registos da utilização da terra como material de construção [1]. Essa utilização da terra deveu-se à sua abundância e às vantagens que apresenta: fácil extracção e transformação, ser reutilizável, reciclável e incombustível [2].

Em várias regiões do mundo a utilização da terra é associada a construções de povos com escassez de recursos financeiros. No entanto, podem ser encontradas aplicações, por exemplo, de argamassas de terra em edifícios importantes, tais como residências nobres, igrejas, mosteiros e edifícios públicos [3].

Com a utilização comum dos ligantes hidráulicos, ocorrida a partir do início do século XX, o uso da terra caiu em desuso, em particular no mundo ocidental, uma vez que se passou a utilizar maioritariamente estruturas de betão armado e rebocos de argamassas de cimento. No entanto, devido ao reduzido impacto ambiental e energético envolvido, o uso da terra como material de construção começou a chamar a atenção da comunidade científica internacional há algumas décadas [4]. A procura pela utilização de materiais de construção mais ecológicos para aplicação em construção nova contribuiu também para o interesse em conservar e reabilitar o património edificado construído com terra, nas diferentes técnicas, desde construção mais vernacular a mais monumental.

Ao longo de décadas e ainda no presente, intervenções de conservação ou reabilitação realizadas com aplicação de rebocos de ligantes hidráulicos, principalmente de cimento, provocaram graves anomalias às construções de terra devido, por exemplo, à diferença de rigidez e de permeabilidade ao vapor de água entre os materiais. Esta e outras características justificam que as argamassas com base em terra sejam as mais aconselhadas para aplicar nestas intervenções.

Actualmente, os rebocos interiores de argamassas com base em terra têm suscitado um crescente interesse internacional devido ao reconhecimento da sua eco-eficiência [5-8]. Existe na Alemanha uma norma específica, a DIN 18947 [9], que define os termos, definições, exigências funcionais e procedimentos de ensaio relativos a argamassas de terra (não estabilizadas com ligantes) para rebocos. Estes procedimentos são relativos a ensaios laboratoriais, realizados maioritariamente a partir de provetes com dimensões de 40 mm × 40 mm × 160 mm, a aplicações de camada de argamassa sobre a superfície de um bloco de alvenaria ou à aplicação de argamassa em molde planar com 15 mm de espessura e 1000 cm² de área. Na sua maioria estes ensaios não se aplicam *in situ* pois destinam-se ao controlo de qualidade e classificação das argamassas de terra para rebocos pré-doseadas e comercializadas (na Alemanha).

A principal desvantagem que é reconhecida aos rebocos de argamassas de terra é a sua degradação quando em contacto, no exterior, com agentes ambientais, nomeadamente a água proveniente da chuva e partículas

soltas em suspensão no vento, agentes que provocam a sua erosão [10]. É necessário, assim, avaliar se é possível melhorar a durabilidade deste tipo de argamassas quando aplicadas em rebocos exteriores [10-11]. A adição de constituintes orgânicos, como é o caso de óleos, ou de ligantes inorgânicos, como sejam os ligantes hidráulicos, na composição de argamassas de terra, ou o tratamento superficial dos rebocos, são formas possíveis de serem utilizadas para aumentar a sua durabilidade [11-12].

A adição de cal aérea à terra argilosa para formulação de argamassas é apresentada diversas vezes como uma tradição popular em algumas regiões, tendo como objectivo melhorar a resistência mecânica e durabilidade dos rebocos de terra [2, 13]. No entanto, esta melhoria não foi totalmente comprovada e pouco se sabe ainda sobre a influência que este tipo de adição apresenta nas propriedades das argamassas e rebocos à base de terra. É importante estar consciente de que a utilização de ligantes inorgânicos, como as cals ou os cimentos, nas argamassas de terra contribui para o aumento da sua energia incorporada [14] e impede que os materiais possam ser de novo reutilizados.

Vários trabalhos têm sido publicados nos últimos anos sobre as propriedades das argamassas de terra com adição de fibras, aditivos naturais ou baixas percentagens de cal [8, 10, 14-17], sobre a sua sustentabilidade, energia incorporada e emissões de CO₂ [18], relativamente ao conforto higrotérmico atingido



Figura 1. Aspecto geral da terra argilosa utilizada antes de peneirada.

Tabela 1

Composição volumétrica das argamassas

Argamassa	Terra	UWS	WS	CL	NHL
E_UWS	1	3	-	-	-
E_WS	1	-	2	-	-
E_WS+CL	1	-	2	0,05-0,08	-
E_WS+NHL	1	-	2	-	0,05-0,08

[6, 8, 19-21], à sua durabilidade [22] e comportamento físico e mecânico [7-8, 23]. No entanto, poucos estudos analisam o comportamento das argamassas de terra aplicadas em rebocos exteriores [11] e a correspondente durabilidade.

Devido à reduzida investigação sobre o comportamento das argamassas de terra quando aplicadas em rebocos exteriores, o objectivo do presente estudo é o de poder contribuir para um mais amplo conhecimento da durabilidade deste tipo de argamassas, pela avaliação da influência da adição de baixas quantidades de cais (aérea ou hidráulica natural) e pela lavagem prévia da areia. Assim, neste artigo são analisados e discutidos os resultados da caracterização física e mecânica de argamassas de terra aditivadas com cal aérea e cal hidráulica natural e comparadas argamassas com areia não lavada e lavada, após 2 anos de aplicação em condições de exposição natural.

Materiais e argamassas

As argamassas com base em terra analisadas foram produzidas com uma terra argilosa, proveniente duma escavação para trabalhos de construção civil da região da Amadora, no distrito de Lisboa. A terra recolhida, classificada como resíduo de construção e demolição, apresentava uma cor muito escura (cor chocolate) com presença de raízes e pedras grandes e sub-angulares (Figura 1). A terra argilosa foi peneirada com o objectivo de excluir as raízes e partículas grossas. Para a produção das argamassas foram utilizadas duas areias siliciosas: uma areia não lavada contendo partículas argilosas finas (que se passa a designar por UWS) e a mesma areia mas lavada (que se designa por WS). Através das argamassas realizadas com as duas areias pretendeu-se avaliar a influência da lavagem da areia nas características dos rebocos. Com a areia lavada produziram-se duas argamassas de terra com a adição de pequenas percentagens de cais: uma cal aérea hidratada em pó CL90 de acordo com a NP EN 459-1 [24] produzida pela Lusical (que se passa a designar por CL) e uma cal hidráulica natural NHL 3,5, de acordo com a mesma norma, produzida pela Secil Argamassas (que se passa a designar por NHL). Desta forma pretendeu-se avaliar a influência da adição de cais nas características dos

rebocos. A composição volumétrica das argamassas é apresentada na Tabela 1.

As argamassas foram produzidas *in situ*, tendo as proporções de cada material sido medidas em volume. Por esse motivo apresentam-se as percentagens de ligante adicionado através de uma gama, admitindo alguma possibilidade de variação que, no entanto, se manteve constante ao longo de cada argamassa. Uma vez que a areia não lavada (UWS) apresenta partículas finas, ao contrário do que acontece com a areia lavada (WS), diminuiu-se a proporção de areia nas argamassas preparadas com WS para se manter uma trabalhabilidade aceitável para a aplicação de reboco. A quantidade de água adicionada foi assim a necessária para garantir uma boa trabalhabilidade a cada argamassa.

Faria *et al.* [10] avaliaram *in situ* diferentes características mecânicas, como a dureza superficial por durómetro e esclerómetro e a velocidade de propagação de ultra-sons, de uma argamassa pré-doseada de terra sobre diversos suportes (alvenaria de pedra, adobe, blocos de betão e tijolo furado) tendo concluído que a maioria das características mecânicas apresentava gamas de valores semelhantes para os diferentes suportes. Com base nesses resultados, optou-se por aplicar as quatro argamassas como rebocos na fachada Norte de um murete experimental de alvenaria de tijolo furado corrente, em painéis com aproximadamente 0,5 m × 2,0 m. Os rebocos de argamassa apresentam uma espessura de 1,5-2,0 cm. O murete experimental está localizado na Estação Experimental Exterior de Alvenarias e Revestimentos da FCT NOVA, no Monte de Caparica, num ambiente semi-urbano a cerca de 2 km do Oceano Atlântico. O murete foi construído sobre uma sapata simples de betão sem qualquer corte suplementar de capilaridade. No topo do murete experimental foram aplicadas telhas cerâmicas servindo como protecção à chuva (Figura 2). O vento nesta zona é maioritariamente proveniente de Sul. Assim, a fachada Norte onde os painéis de reboco foram executados está protegida da radiação solar e não muito exposta à chuva.

Imediatamente antes da aplicação manual das argamassas, que foi realizada sempre pelo mesmo técnico experiente, a superfície do murete de tijolo furado foi previamente humedecida. Os rebocos de argamassa foram deixados 2 anos em exposição natural e só então ensaiados.



Figura 2. Visualização do início (a) e do final (b) da aplicação dos painéis de reboco exteriores com argamassas à base de terra.

Procedimentos de ensaio

Avaliação visual e resistência mecânica

Avaliação visual

Foi realizada uma avaliação visual, no que diz respeito a cor, rugosidade e degradação dos painéis de reboco ao longo dos 2 anos de exposição.

Dureza superficial

A dureza superficial dos rebocos de argamassas foi determinada com um durómetro PCE Shore A (Figura 3a), seguindo o procedimento da norma ASTM D2240 [25], e com um esclerómetro pendular Schmidt PT (Figura 3b), segundo a norma ASTM C805 [26]. Para cada ensaio foram realizadas 12 medições em cada reboco.

O durómetro é um equipamento que possui uma extremidade que, quando pressionada contra o reboco, indica a sua resistência à penetração, medida que se traduz pelo movimento do ponteiro ao longo de uma escala de 0 a 100. O esclerómetro pendular, por seu lado, utiliza uma massa conhecida que, ao chocar contra a superfície do reboco, provoca uma reacção de reflexão. A partir da quantidade de energia recuperada no ressalto da massa obtém-se o índice de dureza superficial do reboco através da escala graduada do equipamento.

Aderência ao suporte

A norma alemã DIN 18947 [9] recomenda a determinação da aderência ao suporte das argamassas de terra através de aplicações sobre blocos de betão. A mesma norma define que o ensaio de aderência ao suporte deve ser realizado com base na norma EN 1015-12 [27]. Este ensaio é correntemente efectuado em alternativa sobre tijolo cerâmico, recorrendo a um equipamento de *pull-off* com pastilhas metálicas de 50 mm de diâmetro. Para a realização do ensaio é necessário efectuar o corte de 3 provetes circulares de 50 mm de diâmetro com uma broca circular sobre cada painel de reboco. Por se tratar de rebocos de baixa resistência efectuou-se o corte de forma manual. Posteriormente as pastilhas metálicas são coladas sobre estes provetes com resinas, deixando-as secar durante aproximadamente 24 h, antes da realização do ensaio.

Resistência ao impacto da esfera

O equipamento de *Martinet-Baronnie* permite avaliar a capacidade resistente e de deformação do reboco através do impacto de uma esfera com massa e energia de impacto definidos. O corpo do aparelho é colocado na horizontal e em seguida deixa-se cair o braço do aparelho sobre o reboco. O braço do aparelho possui, na sua extremidade, uma esfera de aço com 50 mm de diâmetro, que aplica um impacto com 3 J de energia [28]. O comportamento do



Figura 3. Ensaio de dureza superficial por durómetro (a) e por esclerómetro (b).

reboco é avaliado através do diâmetro da massa provocada pela esfera e por eventual fissuração resultante do impacto [28].

Coesão superficial

A coesão superficial é determinada para avaliar a necessidade de tratamento da superfície dos rebocos [29]. Esta propriedade é determinada segundo um ensaio definido por Drdácý *et al.* [30] e simplificado por Faria *et al.* [8]. Foi avaliada a variação de massa de troços de fita adesiva com uma superfície de 70 mm × 50 mm arrancada da superfície de cada painel de reboco, depois de ter sido pressionada com uma intensidade constante sobre essa superfície. O aumento de massa da fita adesiva expressa a perda de partículas da superfície do reboco, logo a sua falta de coesão.

Absorção de água

A absorção de água sob baixa pressão é determinada seguindo o procedimento de ensaio da norma EN 16302 [31]. O ensaio consiste em medir a água absorvida pelo reboco, durante um determinado período de tempo, usando tubos de Karsten, que são fixados e selados às zonas do reboco a estudar e que têm uma determinada área de contacto da água com a superfície.

Resultados e discussão

Avaliação visual

Não ocorreu nenhuma fissuração durante a secagem nem ao longo dos 2 anos de exposição. Ao longo desse período de tempo a aderência dos rebocos à parede não apresentou qualquer deficiência na parte superior dos painéis de reboco em que não ocorre uma grande acção da água líquida.

Os rebocos de argamassas sem adição de cais e com ambas as areias (E_UWS e E_WS) preservaram a cor castanha chocolate característica da terra argilosa utilizada. No entanto, foi notória uma drástica alteração da cor, com embranquecimento, nas argamassas com adições de cais, e particularmente na que teve adição de cal hidráulica natural (Figura 4).

Outra característica diferenciadora entre os rebocos é a sua rugosidade. Todos os rebocos apresentam alguma rugosidade, excepto o reboco com adição de cal hidráulica natural (E_WS+NHL) que apresenta um acabamento mais liso, que poderá estar relacionado com a maior migração de finos do ligante para a superfície. No entanto, ao fim de 2 anos, em todos os rebocos é verificada uma alteração da rugosidade superficial devida à erosão provocada pelo vento. É importante referir que a variação de rugosidade não é só notória entre rebocos, como também é verificada em várias áreas do mesmo reboco. Com efeito, constata-se maior rugosidade na parte inferior dos painéis de

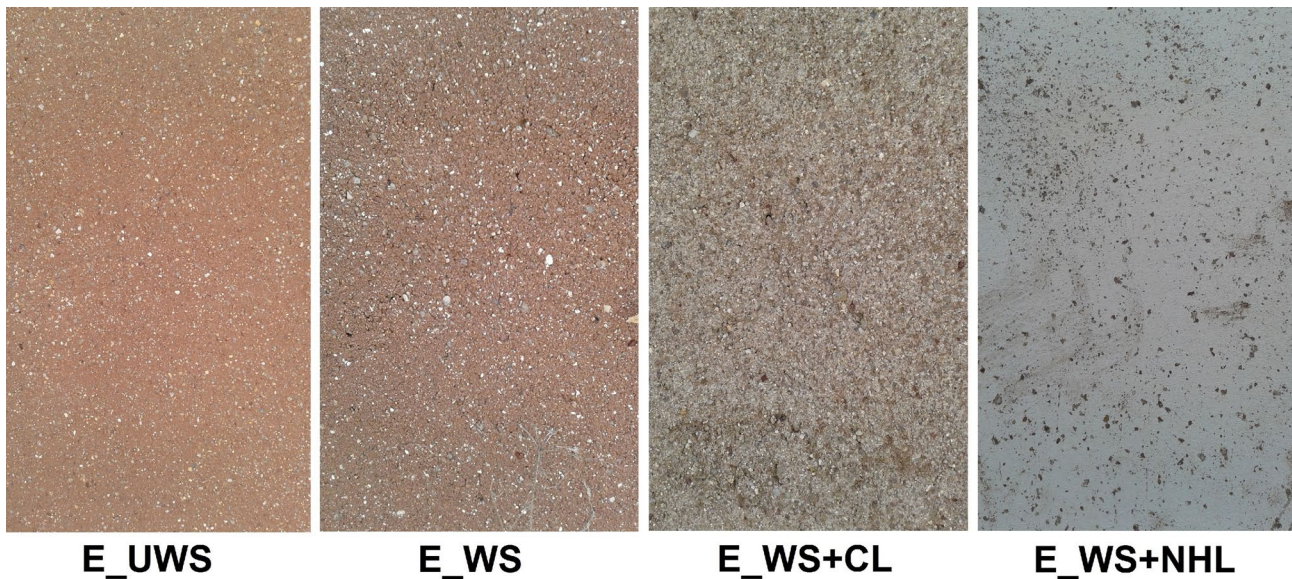


Figura 4. Diferenciação da cor dos rebocos aplicados no murete após 2 anos de exposição natural.

reboco, que se atribui à maior exposição desta zona à água da chuva e às partículas em suspensão no vento.

Resistência mecânica

Dureza superficial

A média e o desvio padrão dos resultados de dureza superficial obtidos, por durómetro e esclerómetro, estão presentes na Figura 5.

Os resultados apresentados para cada ensaio indicam a mesma tendência. A dureza superficial é menor para o reboco de terra com cal aérea, enquanto os restantes rebocos apresentam uma resistência superficial não muito distinta entre si. É possível concluir que a adição destas

percentagens de cal às argamassas de terra e a utilização de areia não lavada não melhoraram a sua dureza superficial.

Os resultados obtidos estão de acordo com os obtidos por Faria *et al.* [10], que analisaram uma argamassa pré-doseada de terra aplicada em diferentes suportes, incluindo uma parede de tijolo furado, exposta a condições ambientais exteriores.

Faria *et al.* [32] analisaram, pelas mesmas técnicas, a dureza superficial de argamassas de cal aérea preparadas com areia siliciosa lavada com traço volumétrico de 1:2 (cal aérea:areia), com substituição parcial (em volume) de 25% de cal aérea por uma terra caulínica, que foram aplicadas sobre uma parede experimental de taipa. O valor de dureza superficial pelo durómetro foi de 70 Shore A, e de 80 Vicker pelo esclerómetro. Os valores obtidos nas argamassas agora estudadas mostram que

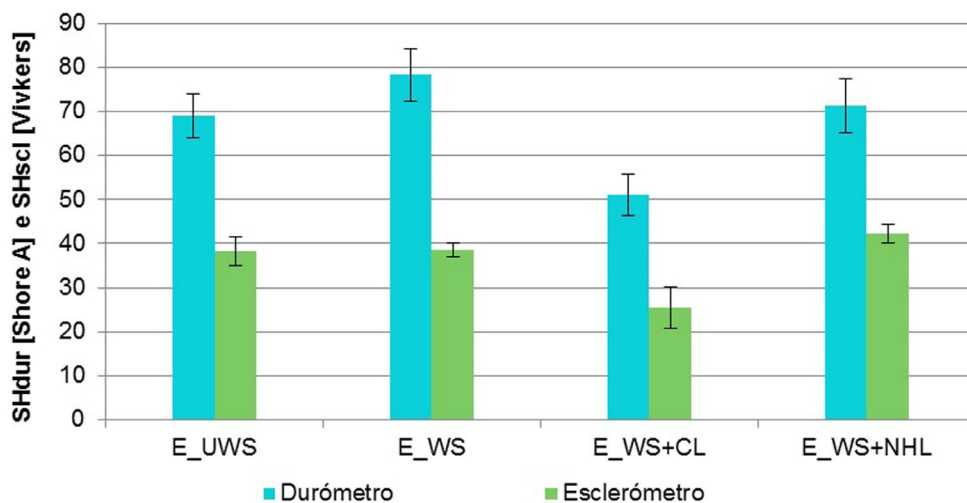


Figura 5. Dureza superficial por durómetro e esclerómetro.

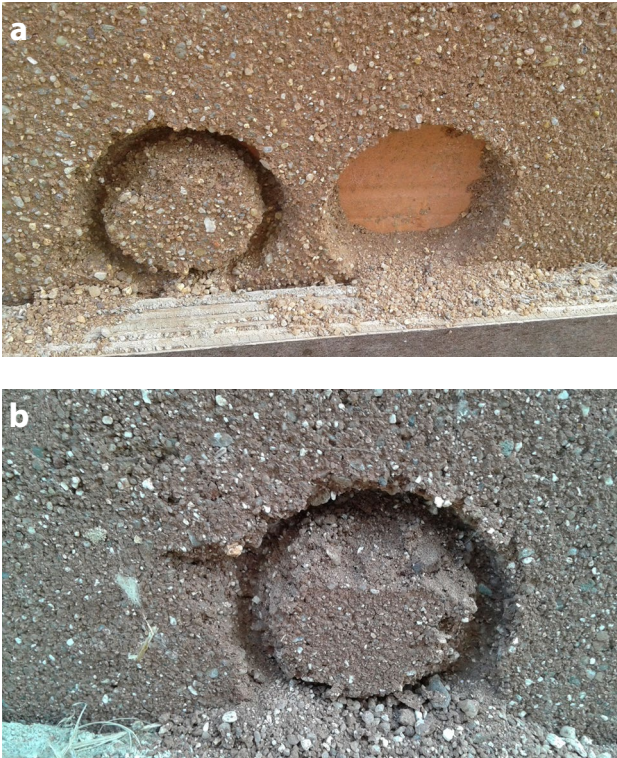


Figura 6. Aspectos de pormenor que mostram a perda de aderência (a) e a degradação da argamassa após o corte (b).

apenas a argamassa de terra com cal aérea apresenta valores de dureza superficial por durómetro inferior. No entanto, todas as argamassas apresentam valores inferiores de dureza superficial quando utilizado o esclerómetro.

Tavares *et al.* [33] estudaram o uso de consolidantes para repor a coesão de argamassas de cal antigas. A aplicação de consolidantes apresentou valores de esclerómetro de cerca de 33 Vickers e entre 59 e 68 Shore A para o durómetro. Em comparação com os

valores obtidos no presente estudo, apenas o reboco de argamassa de terra com cal aérea apresenta valores inferiores de resistência superficial.

Aderência ao suporte

Uma das principais características de um reboco é a sua aderência ao suporte. No presente estudo não foi possível realizar este ensaio por dificuldades na preparação das amostras. Durante o corte manual com a broca de 50 mm de diâmetro interior ocorreram duas situações: perda de aderência e/ou degradação da amostra (Figura 6). A degradação da amostra pode ser devida às partículas mais grossas de areia que, através da rotação da broca, ficam presas nas reentrâncias desta e degradam a superfície do reboco.

No entanto, a aderência dos rebocos à parede, avaliada visualmente *in situ* durante os 2 anos, não apresentou qualquer problema, excepto na parte inferior do reboco de argamassa de terra com areia lavada (E_WS). Nesta zona deste painel, que não se encontrava mais exposto que os restantes, ao fim de mais de 1 ano ocorreu destacamento de parte do reboco.

Delinière *et al.* [7] estudaram a aderência ao suporte de argamassas de terra. No entanto, o corte das amostras circulares de 50 mm de diâmetro foi realizado quando as argamassas ainda se encontravam no estado fresco (1 h após a aplicação dos rebocos de argamassa). A realização do corte das amostras enquanto as argamassas se encontram no estado fresco pode facilitar o procedimento, não provocando a degradação da amostra e do reboco, que ocorreu no presente estudo.

Resistência ao impacto da esfera

Os resultados obtidos no ensaio de choque da esfera, com a utilização do equipamento de *Martinet-Baronnie*, podem ser observados na Figura 7, correspondendo à média de 5 medições em cada painel de reboco.

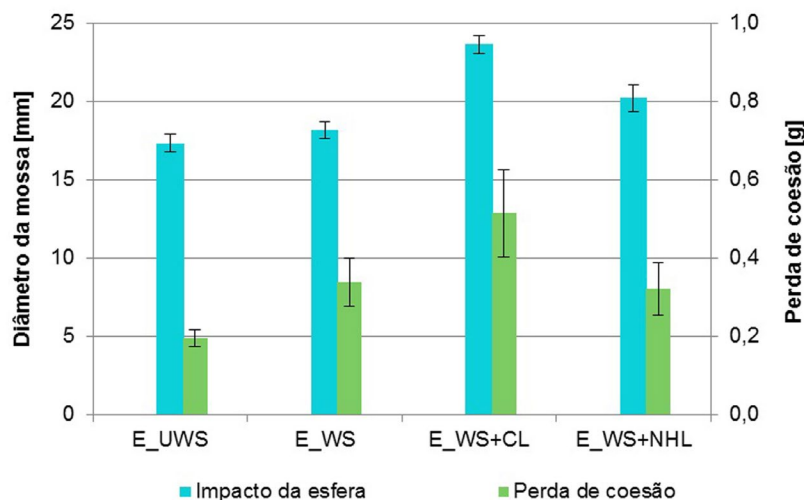


Figura 7. Diâmetro da mossa provocada pelo ensaio de Martinet-Baronnie e da perda de coesão superficial.



Figura 8. Aspeto da superfície do reboco E_WS+NHL no ensaio de Martinet-Baronnie, sendo visível a moessa acompanhada por fissuras.

O reboco de terra com adição de cal hidráulica natural NHL 3,5 apresenta uma moessa acompanhada de fissuras, como pode ser observado na Figura 8. É possível concluir que o reboco de argamassa de terra com adição de cal aérea apresenta menor resistência mecânica, pois foi o que registou o maior diâmetro de moessa, juntamente com pequenas fissuras. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos de dureza superficial para esse reboco.

Em comparação com os resultados obtidos por Veiga *et al.* [28], que analisaram rebocos com adição de vários ligantes e pozolanas (cal hidráulica, cimento, pozolana natural, sílica de fumo e metacaulino) aplicados em painéis exteriores após 6 e 14 semanas, as argamassas analisadas no presente estudo apresentam diâmetros de moessas mais elevados de impacto da esfera.

Coesão superficial

Os resultados de perda de coesão superficial obtidos pelas argamassas estudadas podem ser observados na Figura 7, sendo a média de 5 medições por cada argamassa.

Os rebocos de argamassas E_WS e E_WS+NHL apresentam um comportamento não muito distinto. O reboco com areia não lavada apresenta uma menor perda de coesão superficial, em oposição ao reboco com adição de cal aérea, o que está de acordo com os resultados da observação visual. A baixa coesão superficial apresentada pelos rebocos de argamassas de terra com adições de cais (aérea e hidráulica natural) pode ser justificada pelas baixas resistências mecânicas obtidas por estas argamassas, aferidas pelos ensaios de dureza superficial e de resistência ao impacto da esfera.

Drdácký *et al.* [30] aplicaram o ensaio a argamassas de cal aérea, tendo obtido valores entre 0,017 e 0,020 g. Os valores obtidos para as argamassas analisadas são superiores a estes e aos valores obtidos por Faria *et al.* [8], para uma argamassa de terra pré-doseada com fibras em laboratório, que obteve perda de massa por coesão superficial de 0,10 g.

Absorção de água

Os resultados da absorção de água para os primeiros 5 minutos são apresentados na Figura 9, representando a média dos ensaios realizados em 3 amostras para cada painel de reboco. Após este período de tempo, alguns

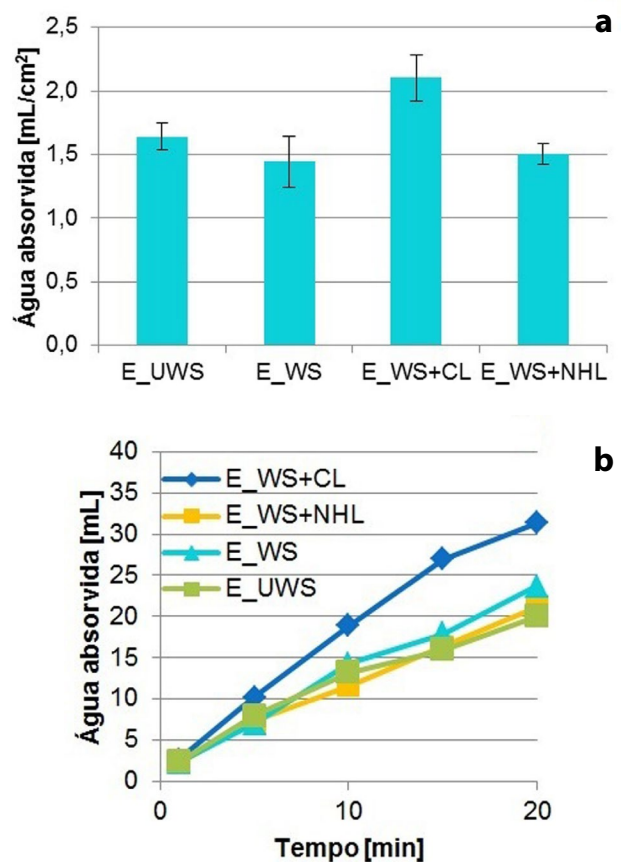


Figura 9. Absorção de água por área dos tubos de Karsten após 5 minutos (a) e curva de absorção de água em função do tempo (b).

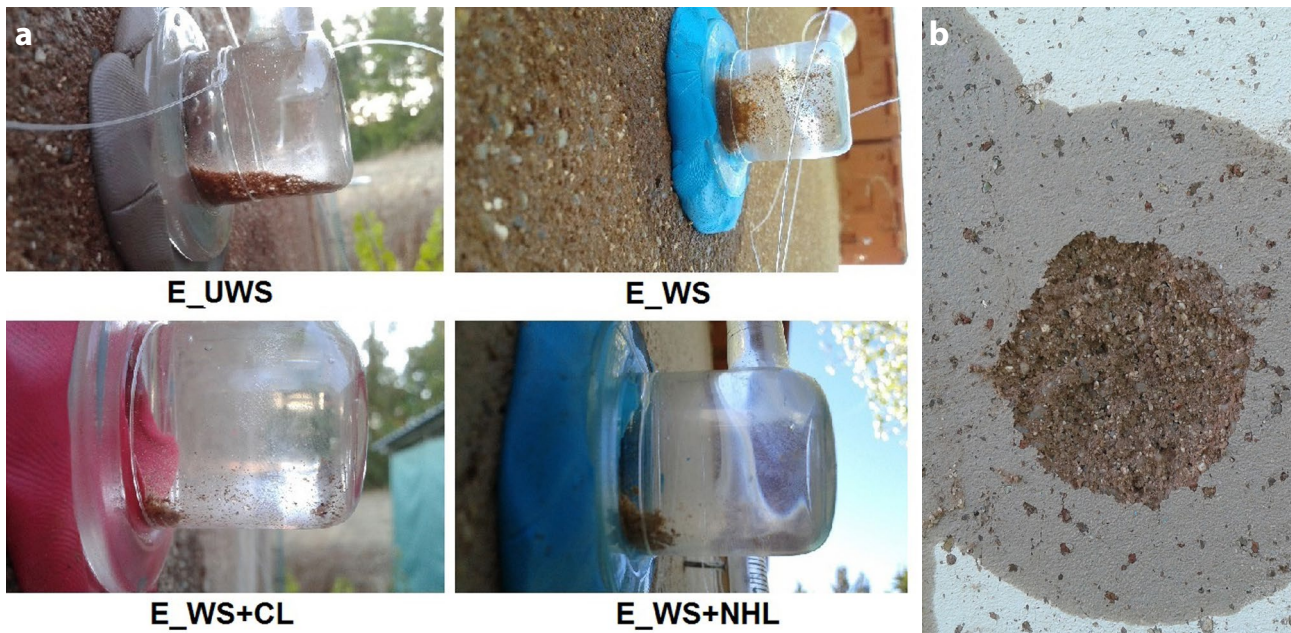


Figura 10. Detalhe da degradação dos rebocos durante o ensaio de absorção de água (a) e degradação do reboco E_WS+NHL com perda de massa superficial após o ensaio (b).

tubos de Karsten perderam a aderência à superfície do reboco devido à degradação provocada no reboco pela água (Figura 10). No entanto, através dos provetes que se mantiveram, é possível apresentar a curva de absorção obtida durante 20 minutos (Figura 9b).

O reboco de argamassa de terra com cal aérea apresenta o valor mais elevado de absorção de água, sendo superior ao valor obtido pelo reboco sem cal. As restantes argamassas apresentam um comportamento semelhante em termos de absorção de água aos 5 e aos 20 minutos. O reboco de argamassa de terra com adição de NHL foi o único que permitiu manter o tubo de Karsten aderente durante 1 h sem cair. O mesmo não aconteceu nas restantes argamassas. A rugosidade da superfície dos rebocos e a degradação ocorrida na superfície em ensaio contribuiu para a perda de aderência do selante.

Através da observação da Figura 10 é possível concluir que, quando em contacto directo com a água, os rebocos de argamassa sem adição de cal apresentam perdas de material superior aos com adição de cal e que a diferenciação do tipo de areia (não lavada ou lavada – UWS vs WS) não teve influência no comportamento à água.

Stazi *et al.* [11] analisaram vários rebocos de terra aplicados em dois tipos de suporte, nomeadamente rebocos sem adição de ligante ou com tratamento de superfície. A análise realizada por estes autores não segue a norma EN 16302 [31] tendo por isso determinado o valor de coeficiente de absorção de forma diferente. Os resultados obtidos por estes autores não são comparáveis com os do presente estudo, pois após 15 minutos os rebocos estudados já tinham absorvido entre 15 a 25 g de água, enquanto os rebocos estudados por Stazi *et al.* [11] para o mesmo período absorveram muito menos

quantidade de água (0 a 1,6 g). Estes resultados parecem ser completamente impossíveis de obter para os rebocos de terra ao traço 1:4 de terra e areia formulados [11] sem tratamento de superfície, mas podem também depender do tipo de argila presente na terra ou do procedimento de ensaio e de tratamento de resultados.

Faria *et al.* [32], para uma argamassa de cal aérea com substituição parcial de cal por terra, obtiveram valores de absorção de água por tubos de Karsten aos 5 minutos de 17,9 mL. Estes valores são ligeiramente superiores aos obtidos no presente estudo, mostrando que as argamassas de cal aérea com substituição de cal por terra apresentam uma capacidade de absorção de água superior às argamassas de terra com baixas adições de cal aérea e cal hidráulica natural. Este efeito deve-se muito provavelmente ao bloqueio à água apresentado pelas partículas de argila das argamassas à base de terra, quando saturadas.

Conclusões

Constatou-se existir uma notória variação de cor e de rugosidade dos rebocos de terra com baixa adição de cais aérea (CL90) e hidráulica natural (NHL 3,5), o que constitui um factor negativo dos rebocos com adições de cais. O reboco com areia não lavada, apesar de apresentar menor proporção de terra em comparação com as restantes argamassas, foi o que apresentou melhor estabilidade estética.

A exposição às condições atmosféricas exteriores provocou alguma degradação nos rebocos, incluindo os rebocos com adição de ligante inorgânico (CL90 e NHL 3,5). A degradação foi mais notória na parte inferior dos

rebocos, mais exposta à chuva e à erosão por partículas em suspensão no ar, em que foi observada uma maior degradação e perda de aderência da parte inferior do reboco de argamassa de terra com areia lavada (E_WS), após mais de 1 ano de exposição.

Os resultados da dureza superficial por durómetro e por esclerómetro seguem a mesma tendência entre si. Por conseguinte, parece que a realização de apenas um destes ensaios é suficiente para expressar essa característica. No que diz respeito à deformabilidade e fissuração dos rebocos através do impacto da esfera é possível concluir que a adição de baixas percentagens de cais (CL ou NHL) não aumenta a resistência mecânica dos rebocos com base em terra, tendo os rebocos assim aditivados apresentado valores elevados de deformabilidade. Devido à baixa resistência dos rebocos de argamassa de terra analisados, não foi possível realizar o ensaio de aderência ao suporte, uma vez que não se conseguiram amostras válidas para a sua realização. No entanto, ao longo dos 2 anos não ocorreu qualquer fissuração que pudesse denotar retracção ou falta de aderência dos painéis de reboco ao suporte, excepto no caso da zona inferior do reboco com areia lavada.

Ao contrário do que seria de esperar, o reboco de terra com adição de cal aérea apresenta coesão superficial inferior aos rebocos de terra não aditivados. As baixas resistências mecânicas dos rebocos de argamassa de terra com adições de cais (aérea e hidráulica natural) podem justificar a baixa coesão superficial obtida por estas argamassas. Em termos de absorção de água, o reboco de terra com NHL 3,5 foi o que apresentou melhor comportamento, enquanto o reboco com cal aérea apresenta valores semelhantes aos valores obtidos pelos rebocos sem adição desses ligantes.

Em geral, os resultados obtidos neste estudo de rebocos de argamassa à base de terra, expostos a condições atmosféricas exteriores durante 2 anos, mostram que a adição de baixas quantidades de cais aérea (CL90) e hidráulica natural (NHL 3,5) não melhora as características físicas e mecânicas deste tipo de rebocos, quando utilizado este tipo de terra argilosa. Por outro lado, há que relembrar que o estudo foi realizado apenas em rebocos aplicados sobre alvenaria de tijolo furado corrente. A utilização da areia lavada para a estabilidade física da argamassa é menos eco-eficiente do que a utilização da areia não-lavada, não se tendo obtido alterações relevantes que justifiquem a sua utilização.

Outros tipos de adições e adjuvantes particularmente compatíveis, ou determinados tratamentos de protecção de superfície, devem continuar a ser estudados para se avaliarem potenciais efeitos positivos na durabilidade dos rebocos com base em terra. Por outro lado, deve também ser avaliado o comportamento de argamassas de areia não lavada (UWS) com adições de cais aérea e hidráulica natural.

Agradecimentos

Agradece-se a disponibilização de ligantes pela Lusical e Secil, a aplicação dos rebocos e o apoio na campanha

experimental por parte do Eng. Vitor Silva e ao projecto DB-Heritage - Database of building materials with historical and heritage interest (PTDC/EPH-PAT/4684/2014) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Referências

- 1 Bruno, P.; Faria, P.; Candeias, A.; Mirão, J., 'Earth mortars from on pre-historic habitat settlements in south Portugal. Case studies', *Journal of Iberian Archaeology* **13** (2010) 51-67.
- 2 Minke, G., *Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture*, WIT Press, Berlin (2006).
- 3 Cantù, M.; Giacometti, F.; Landi, A. G.; Riccardi, M. P.; Tarantino, S. C.; Grimoldi, A., 'Characterization of XVIIIth century earthen mortars from Cremona (Northern Italy): Insights on a manufacturing tradition', *Materials Characterization* **103** (2015) 81-89, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.018>.
- 4 Houben, H.; Guillaud, H., *Traité de Construction en Terre*, CRATerre, Editions Parentheses, France (1989).
- 5 Maddison, M.; Muring, T.; Kirsimäe, K.; Mander, Ü., 'The humidity buffer capacity of clay-sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands', *Building and Environment* **44** (2009) 1864-1868, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.008>.
- 6 Darling, E.; Cros, C.; Wargocki, P.; Kolarik, J.; Marrison, G. C.; Corsi, R. L., 'Impacts of clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements', *Building and Environmental* **57** (2012) 370-376, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.004>.
- 7 Delinière, R.; Aubert, J. E.; Rojat, F.; Gasc-Barbier, M., 'Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster', *Building and Environmental* **80** (2014) 11-17, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.012>.
- 8 Faria, P.; Santos, T.; Aubert, J. E., 'Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar', *Journal of Materials in Civil Engineering* **28**(1) (2016) 04015085, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001363](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001363).
- 9 *DIN 18947 (2013) Earth Plasters. Terms and Definitions, Requirements, Test Methods*, Deutsches Institut für Normung E.V., Berlin (2013).
- 10 Faria, P.; Santos, T.; Silva, V., 'Earth-based mortars for masonry plastering', in *Proceedings of the 9th International Masonry Conference*, Guimarães (2014) CD-ROM.
- 11 Stazi, F.; Nacci, A.; Tittarelli, F.; Pasqualini, E.; Munafò, P., 'An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments', *Journal of Cultural Heritage* **17** (2016) 27-41, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009>.
- 12 Morton, T., *Earth masonry. Design and Construction Guideline*, IHS BRE Press (2008).
- 13 Hall, M. R.; Allinson, D., 'Influence of cementitious binder content on moisture transport in stabilized earth materials analysed using 1-dimensional sharp wet front theory', *Building and Environment* **44** (2009) 688-693, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.013>.
- 14 Gomes, M. I.; Gonçalves, T. D.; Faria, P., 'Hydric behaviour of earth materials and the effects of their stabilization with cement or lime: a study on repair mortars for historical rammed earth structures', *Journal of Materials in Civil Engineering* **28**(7) (2016) 04016041, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001536](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001536).
- 15 Minke, G., 'Shrinkage, abrasion, erosion and sorption of clay plasters', *Informes de la Construcción* **63**(532) (2011) 153-158, <https://doi.org/10.3989/ic.10.020>.

- 16 Gomes, M. I.; Gonçalves, T. D.; Faria, P., 'Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers', in *Rammed Earth Conservation*, ed. C. Mileto, F. Vegas & V. Cristini, Taylor & Francis, London (2012) 661-668.
- 17 Kita, Y., 'The functions of vegetable mucilage in lime and earth mortars – A review', in *HMC2013 - 3rd Historic Mortars Conference*, Glasgow (2013) CD-ROM.
- 18 Mèlia, P.; Ruggieri, G.; Sabbadini, S.; Dotelli, G., 'Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters', *Journal of Cleaner Production* **80** (2014) 176-186, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.073>.
- 19 Lima, J.; Faria, P.; Santos Silva, A., 'Earthen plasters based on illitic soils from Barrocal region of Algarve: contributions for building performance and sustainability', *Key Engineering Materials* **678** (2016) 64-77, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.678.64>.
- 20 Cagnon, H.; Aubert, J. E.; Coutand, M.; Magniont, C., 'Hygrothermal properties of earth bricks', *Energy and Buildings* **80** (2014) 208-217, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.024>.
- 21 Ashour, T.; Georg, H.; Wu, W., 'An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings', *Applied Thermal Engineering* **31** (2011) 293-303, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.09.009>.
- 22 Bui, Q. B.; Morel, J. C.; Venkatarama Reddy, B. V.; Ghayad, W., 'Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering', *Building and Environmental* **44** (2009) 912-919, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.001>.
- 23 Hamard, E.; Morel, J. C.; Salgado, F.; Marcom, A.; Meunier, N., 'A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture', *Journal of Cultural Heritage* **14** (2013) 109-115, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.04.005>.
- 24 NP EN 459-1 (2011). *Cal de Construção. Parte 1: Definições, Especificações e Critérios de Conformidade*, IPQ, Caparica (2011).
- 25 ASTM D2240 (2000). *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*, ASTM (2000).
- 26 ASTM C805 (2008). *Standard Test Method for Rebound Hammer of Hardened Concrete*, ASTM (2008).
- 27 EN 1015-12 (2000). *Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates*, CEN, Brussels (2000).
- 28 Veiga, M. R.; Velosa, A.; Magalhães, A., 'Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation', *Construction and Building Materials* **23** (2009) 318-327, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.003>.
- 29 Röhlen, U.; Ziegert, C., *Earth Building Practice*, Bauwerk, Beuth Verlag GmbH, Berlin (2011).
- 30 Drdácky, M.; Lesák, J.; Niedoba, K.; Valach, J., 'Peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces', *Materials and Structures* **48** (2014) 1947-1963, <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0285-8>.
- 31 EN 16302 (2013). *Conservation of Cultural Heritage – Test Methods: Measurement of Water Absorption by Pipe Method*, CEN, Brussels (2013).
- 32 Faria, P.; Silva, V.; Jamú, N.; Dias, I., 'Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders', in *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, ed. M. Correia, G. Carlos & S. Rocha, CRC Press/Taylor & Francis Group, London (2014) 407-413.
- 33 Tavares, M.; Veiga, M. R.; Fragata, A., 'Conservation of old renderings – the consolidation of rendering with loss of cohesion', in *HMC2008 – 1st Historical Mortars Conference*, Lisbon (2008) CD-ROM.

Recebido: 2016-10-24

Aceite: 2017-02-16

Online: 2017-03-08



Licenciado sob uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.
Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>