

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ADOBE DA REGIÃO DE AVEIRO

Tiago Martins, Humberto Varum e Aníbal Costa

Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Campus Universitário de Santiago, 3810-193 AVEIRO

Tel. (+351) 234 370938; E-mail: tmartins@civil.ua.pt; hvarum@ua.pt; agc@ua.pt

Tema 3: Técnicas, Construção, Investigação e Desenvolvimento

Palavras-Chave: Adobe, absorção capilar, resistência à compressão.

Resumo

Os materiais de construção são na sua maioria estruturas porosas que geram trocas permanentes de humidade com o ambiente em que se encontram. Este comportamento condiciona, entre outras, as suas propriedades mecânicas e a sua durabilidade. No caso do material em análise, o adobe, e em concreto o utilizado nas estruturas de alvenaria resistente da região de Aveiro, pela sua sensibilidade à presença de água, tal comportamento reveste-se de especial importância, uma vez que, dadas as variações significativas do teor de humidade a que estão frequentemente sujeitas estas estruturas e os processos patológicos que, por via de condições de humidade adversas, se desencadeiam nas mesmas, tornam necessário avaliar em que medida se vêem afectadas por estes fenómenos as suas condições de segurança e durabilidade.

Em serviço, muitas estruturas em alvenaria de adobe experimentam com frequência alterações severas e até perenes das suas condições de humidade, fundamentalmente, por via da intensa absorção de água por capilaridade que se produz nas mesmas. Neste sentido, resulta lógico que, para entender globalmente o comportamento estrutural destas alvenarias, se torne necessário avaliar previamente em que medida estas variações afectam, algumas características mecânicas do material, nomeadamente a sua resistência.

Deste modo, o presente artigo tem como objectivo estudar a influência da presença de água capilar nas propriedades mecânicas do adobe da região de Aveiro. Para tal, foram realizados ensaios de compressão simples, para diferentes estados de humidade, desde a saturação ao estado “seco” (humidade de equilíbrio), sobre provetes cilíndricos extraídos de um conjunto representativo de blocos provenientes de diferentes adobes existentes em alvenarias correntes da região, muros e casas. Neste artigo são descritos os ensaios realizados e apresentados os resultados obtidos, analisando, a influência da variação de humidade nas propriedades mecânicas do adobe.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do adobe em estruturas de alvenaria resistente em Portugal teve alguma expressão até a primeira metade do século XX, sobretudo na região de Aveiro. Até este período assistiu-se na região ao predomínio do emprego deste material, nas suas mais variadas tipologias e aplicações, em detrimento de outros materiais de uso frequente, à época, noutras regiões do país, como seja o exemplo da pedra. O seu emprego na construção veio entretanto, com a advento de novos materiais, como o betão armado, e técnicas construtivas, como sejam as estruturas porticadas, a ser gradualmente abandonado até ao seu quase desaparecimento como material e técnica construtiva durante a segunda metade do século XX (Oliveira e Galhano, 1992).

Nas últimas décadas, a conservação e reabilitação de grande parte deste edificado, com múltiplas realizações de reconhecido interesse histórico, cultural e arquitectónico, tem vindo a ser descuidada. Como consequência, constata-se o estado actual de deterioração e de dano pronunciado evidenciado por uma grande parte destas

construções. A condição de abandono e ruína iminente em que se encontram muitas destas construções deixa antever a breve prazo a entrada em colapso das mesmas. Além de todas as consequências que acarreta a sua possível perda, a falta de manutenção deste património poderá implicar uma marcante redução da sua vida útil, quer pelas implicações em termos de durabilidade dos materiais, segurança estrutural questões e funcionais e de conforto.

Regra geral, a opção pela demolição tem sido a fatal solução para afrontar o estado actual de algum deste património edificado. Porém, nos últimos anos, tem-se assistido, por parte de alguns dos agentes implicados na preservação destas construções, motivados por diversos factores de ordem ambiental, económica e da sua consciencialização para a preservação do património, a um interesse crescente pela sua salvaguarda, promovendo a reabilitação das mesmas. Construções que, refira-se, na maioria dos casos se poderão encontrar plenamente capazes, uma vez intervencionadas, em maior ou menor grau de profundidade, para cumprir as funções para as quais foram concebidas e construídas, satisfazendo, na maioria dos casos, além das exigências originais, grande parte dos parâmetros requeridos para as construções actuais correntes.

Decorre assim do exposto a necessidade de estudar, desenvolver e testar estratégias de intervenção que permitam, por via da reabilitação, prolongar a vida útil destas estruturas, tendo em conta os diferentes graus de profundidade das intervenções, e os principais mecanismos de dano verificados. Assim sendo, importa recordar que tais estruturas foram construídas utilizando técnicas e materiais tradicionais, com base no conhecimento empírico, e entretanto abandonados o que, numa primeira análise, exige que devam ser objecto de uma fase prévia de estudo e investigação multidisciplinar, essencial não só para a sua caracterização e compreensão mas também para o diagnóstico dos principais processos patológicos que nelas se desencadeiam e em que medida se vêem afectadas pelos mesmos. Neste sentido, cabe assinalar que entre as principais dificuldades que surgem aos técnicos que trabalham em intervenções de reabilitação deste património se encontra a falta de informação e conhecimento acerca das propriedades fundamentais que regem o comportamento mecânico do adobe (Arango-González, 1999) e, por outro lado, em que medida variações paramétricas de fenómenos correntes tão relevantes como seja a alteração frequente das condições de humidade do adobe podem influenciar essas mesmas propriedades mecânicas.

Assinale-se pois a importância deste fenómeno associado às alvenarias de adobe, uma vez que, por via da sua elevada porosidade e instabilidade face à acção cíclica da água, decorrente da ascensão capilar intensa que se verifica ao longo dos diferentes ciclos climatológicos, este se constitui como o factor desencadeante dos principais mecanismos de dano, afectando as suas propriedades e o seu comportamento e desempenho mecânico. Refira-se que, de acordo com os estudos prévios realizados pelos autores do presente artigo, um dos principais processos patológicos nas construções de adobe têm como causa fundamental a presença de água no adobe e a sua interacção com o mesmo.

Assim, surgiu o interesse em realizar o presente estudo, motivado pela insuficiente investigação e o escasso conhecimento existentes acerca destas propriedades e do seu comportamento mecânico do adobe face à presença de água. O objectivo central do presente estudo é investigar a influência da variação das suas condições de humidade nas propriedades mecânicas do adobe, essenciais para a caracterização do comportamento estrutural destas construções. Procurou-se contribuir para a criação uma base de resultados que, por um lado, sirva de apoio às intervenções de reabilitação e/ou reforço das construções de adobe e, por outro, permita servir de base

ao estudo de soluções de melhoria das características mecânicas das alvenarias, possibilitando a correção das deficiências do seu comportamento estrutural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Enquadramento normativo

Em geral, a bibliografia e normas internacionais relevantes sobre construção com terra, e em particular sobre adobe, são bastante díspares do ponto de vista dos procedimentos de ensaio preconizados. Assim, verifica-se que os métodos de ensaio e a formulação e análise dos resultados obtidos se definem adequando-os em função da especificidade local das características do material e das práticas correntes de ensaio, apoiando a sua metodologia em ensaios adaptados de outras áreas de conhecimento. Quer isto dizer que o enquadramento normativo dos ensaios para diferentes tipos de alvenaria de adobe existentes no mundo difere muito entre si, estando este muito condicionado pelo estudo prévio dos aspectos mais relevantes que condicionam o seu comportamento em cada região (Jiménez-Delgado, 2006).

Assim sendo, face a tais heterogeneidades e à inexistência de uma base normativa para o adobe em estudo neste trabalho, na definição da metodologia de ensaio que serviu de base ao estudo realizado, quer para os ensaios de caracterização mecânica (RILEM, 1994), quer para os ensaios de absorção capilar (RILEM, 1994; CEN, 2008), procurou-se adoptar procedimentos de ensaio padrão utilizados para outros materiais, compatibilizando-os com as especificidades do material em estudo. Deste modo, os procedimentos utilizados em ditos ensaios foram ajustados por aspectos que se considera aferirem uma exequibilidade prática aos diferentes ensaios levados a cabo e que permitem a compatibilidade entre os mesmos (Faria, 2009). Apesar das discrepâncias antes referidas, que não permitem sempre uma comparação directa entre os resultados preconizados pelos diferentes procedimentos de ensaio consultados na bibliografia, assinala-se como dados mais significativos da recolha normativa realizada que as normas existentes limitam inferiormente a resistência à compressão do adobe para construções novas entre 1,0 MPa e 2,1 MPa. Além disso, convém referir que na bibliografia consultada nenhuma referência prevê requisitos mínimos de resistência mecânica para o adobe saturado. Somente se detectou num caso menção à capacidade de absorção total de água admissível para o adobe estabilizado na norma NMAC 14.7.4. (2003), a qual limita a 2,5%, após imersão em água durante 7 dias, a máxima absorção de água para que este se considere estabilizado. Entenda-se neste contexto a estabilização como resultante da adição de agentes ligantes ou impermeabilizantes, como sejam a cal, o cimento ou emulsões asfálticas. Assinala-se porém que, para o caso dos blocos de terra comprimida (BTC), as referências bibliográficas à absorção de água permitida para validar os processos de estabilização neste material são menos estritas permitindo limites de absorção total de água, de entre 5% a 20% (ARS 674, 1996; NBR 8492 MB1960, 1984; Ottazzi *et al.*, 1995).

2.2. Recolha de amostras e execução de provetes de ensaio

Procurou-se na recolha das amostras para o presente estudo a maior representatividade possível da diversidade tipológica de adobes existentes na região, em relação às propriedades determinantes do comportamento em compreensão. A heterogeneidade detectada é relevante ao nível do tamanho dos blocos de adobe, da forma dos mesmos, da sua constituição, do seu processo de fabrico, etc. (Fig.1) perfilando-se esta como uma dificuldade significativa na recolha de um conjunto de amostras suficientemente amplo que pudesse representar tal diversidade. Deste modo, as amostras de muros e casas seleccionadas, foram recolhidas em diversas

alvenarias de distintos locais da região de forma a caracterizar o mais largamente possível a variedade de adobes existentes na mesma.

As amostras recolhidas, sempre que possível, eram constituídas por blocos inteiros de adobe e pequenas amostras intactas de argamassa de junta e de reboco. À excepção de alguns blocos cuja coesão e/ou granulometria não o permitiram, foi possível extrair dos blocos recolhidos, carotes cilíndricos com diâmetro aproximado de 90 mm (Fig.1). Estes foram posteriormente cortados com uma altura igual a duas vezes o seu diâmetro, procedendo-se à regularização das faces de topo dos provetes de forma a estarem perfeitamente paralelas e perpendiculares ao seu eixo, e normalizadas as suas dimensões com o objectivo de serem ensaiados em condições similares e de acordo com as normas adoptadas. De realçar, desde logo, que a aparência dos diferentes provetes obtidos era notoriamente heterogénea, o que, como adiante se comprova, reflectir-se-á nos resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos (Fig.1).

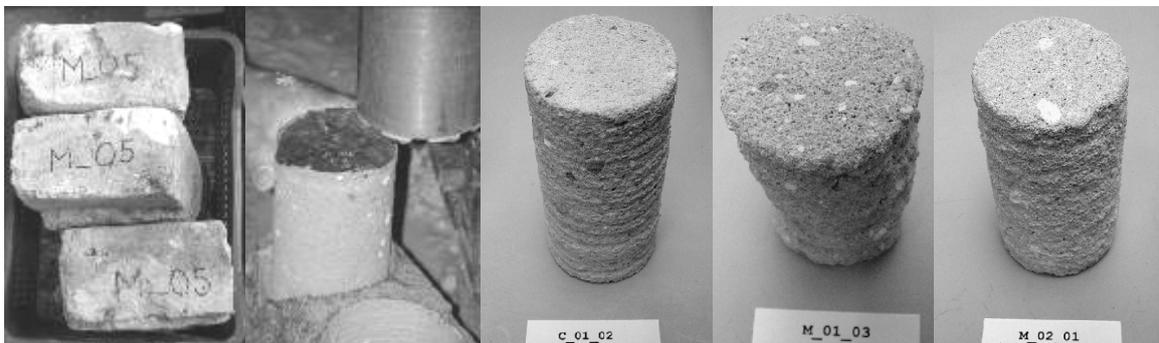


Fig.1 - Procedimento de extracção e preparação dos provetes (Créditos: Fotos dos autores).

Para facilitar a identificação e análise dos provetes, estes foram numerados e seriados, segundo a sua proveniência, diferenciando, respectivamente, amostras de casas e muros com a notação: C_i e M_i, onde i representa o número da obra. É ainda utilizado um segundo índice j (representando o número da amostra de cada proveniência), sempre que é feita referência particular a um provete específico.

3. METODOLOGIA DE ENSAIO

Um total de 28 provetes cilíndricos foi produzido e submetido a ensaios de caracterização mecânica (Fig.2-a) e/ou de absorção (Fig.2-b), dos quais, 11 eram provenientes de amostras de casas e 17 de muros.



a) Compressão simples



b) Absorção capilar

Fig.2 - Ensaios de caracterização mecânica e de absorção de água (Créditos: Fotos dos autores).

A caracterização mecânica realizada centrou-se fundamentalmente na determinação da resistência à compressão simples dos provetes cilíndricos, parâmetro fundamental de desempenho mecânico para a avaliação da segurança estrutural destas construções. Deste modo, com recurso a uma prensa mecânica foi determinada a tensão de rotura à compressão dos provetes para dois estados de humidade, estado saturado e estado “seco” (humidade de equilíbrio). O seu valor foi estimado individualmente a partir da carga de rotura obtida para cada provete dividida pela área da secção transversal resistente (perpendicular ao eixo de aplicação da carga) e expresso em N/mm^2 , como descrito na norma RILEM (1994). A resistência média, sempre que o número de ensaios o permitiu, para as diferentes amostras (C_i e M_i) e estados de humidade foi igualmente calculada.

Adicionalmente, para a casa C_{01} foi desenvolvido um ensaio de resistência à compressão simples de amostras das suas argamassas de reboco. Neste caso, dada a espessura reduzida da argamassa, foram produzidos provetes laminares finos, ensaiadas em compressão com o auxílio de duas chapas quadradas de aço de 4 cm de lado, colocadas uma de cada lado das faces inferior e superior da amostra de argamassa de reboco, nas quais foi aplicado o esforço de compressão transmitido pelos pratos da prensa.

Os ensaios de absorção realizados compreenderam a determinação dos valores dos coeficientes de absorção e penetração capilar de acordo com o estipulado em prEN 15801 (2008) e RILEM (1994) e da capacidade de absorção total de água de acordo com NMAC 14.7.4 (2003).

A análise experimental dos coeficientes de absorção e penetração capilar consiste, resumidamente, em colocar os provetes em contacto com água, medindo, respectivamente, a variação da massa e da altura da frente de água absorvida em função da raiz quadrada do tempo. Em relação à sua determinação destacam-se as seguintes etapas básicas do procedimento experimental e metodologia de cálculo adoptados:

- Os provetes são inicialmente secos em estufa ventilada à temperatura de 60 ± 2 °C até atingirem massa constante, sendo posteriormente colocados no exsiccador até atingirem a temperatura de 23 ± 1 °C; a partir da qual pode dar-se início ao ensaio.
- Coloca-se um papel de filtro ou feltro geotéxtil sobre suportes de reduzidas dimensões apoiados na base de um tabuleiro e satura-se com água, sem que a água exceda a superfície superior do tabuleiro. O nível de água deve manter-se constante ao longo do ensaio.
- Procede-se à medição, o mais rigorosa possível, das dimensões do provete, incluindo a secção transversal (A , m^2) (perpendicular à direcção de absorção capilar) e do seu peso, considerando-se (m_o , g) como sendo a massa inicial. Este é então colocado em contacto com a água, iniciando-se a contagem do tempo.
- A massa (m_i) de cada provete torna a ser aferida em tempos de ensaio definidos (t_i , em segundos), após ligeiro contacto da base de ensaio com um pano húmido permitindo que goteje e repõem-se, imediatamente, em seguida o provete de novo em contacto com a água. No mesmo instante t_i calcula-se igualmente a altura (H_i , cm) de água absorvida por capilaridade acima da superfície inferior do provete. Esta é determinada pela média aritmética de alturas medidas em 4 geratrizes igualmente espaçadas.
- A expressão dos resultados da quantidade de água capilar absorvida pelo provete por unidade de área Q_i no instante t_i é dada pela relação: $Q_i = (m_i - m_o)/A$ [g/m^2], em que m_i , m_o foram definidos anteriormente e onde $m_i - m_o$ representa o incremento de massa para cada instante t_i , e A a secção transversal da base do provete em contacto com a água.

- f) Os valores de Q_i são registados num gráfico, em função da raiz quadrada do tempo. A quantidade total de água capilar absorvida pelo provete por unidade de área é o valor assintótico representado no gráfico e permite avaliar a absorção máxima do adobe. O coeficiente de absorção capilar (AC) é obtido do gráfico, pelo declive do troço linear mais representativo no início do ensaio, em $\text{g/m}^2\text{s}^{1/2}$. É determinado por regressão linear, utilizando pelo menos cinco pontos sucessivos. O coeficiente de penetração capilar (B) é representado pelo declive do troço inicial do gráfico obtido com a altura da frente de água, função da raiz quadrada do tempo, em $\text{cm/s}^{1/2}$, calculado por regressão linear.

Uma vez terminados os ensaios anteriormente descritos, os provetes foram imersos totalmente em água, durante 7 dias completos para a posterior análise da capacidade de absorção total e da resistência saturada à compressão simples. Assim, transcorrido este período de imersão em água, foi aferida a massa saturada de cada provete, correspondendo a diferença percentual entre a massa saturada (m_{sat}) e massa seca (m_0) ao valor de sua capacidade total de absorção de água. Finalmente, os provetes uma vez saturados foram imediatamente ensaiados à compressão simples, com procedimentos semelhantes aos utilizados para os provetes “secos”.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A realização dos ensaios de caracterização mecânica permitiu a obtenção de resultados referentes às resistências à compressão simples dos provetes de adobe para o estado “seco” (humidade de equilíbrio) e para o estado saturado. Na Fig.3 encontram-se sintetizados, para cada ensaio, os resultados obtidos. No caso dos provetes “secos” foram igualmente estimados, com base no registo das curvas de comportamento tensão-deformação de cada provete (Fig.4), valores referentes ao módulo de elasticidade e à deformação correspondente à resistência de pico dos mesmos (Fig.3). Ainda na Fig.3 são apresentados os resultados referentes aos ensaios de resistência à compressão da argamassa de reboco (AR) da casa C_01. Na Fig.5 apresentam-se igualmente para os provetes do muro M_04, a título exemplificativo, as curvas de comportamento obtidas nos ensaios de compressão simples para os dois estados em estudo (“seco” e saturado).

Da observação dos resultados expostos, para os ensaios de compressão simples dos provetes “secos”, cabe salientar os valores significativos de resistência à compressão simples obtidos, variando individualmente entre 0,54 e 2,02 MPa. Destes destacam-se um dos provetes referentes ao muro M_05 onde resultou o valor mais elevado de resistência à compressão, 2,02 MPa. Em oposição, em termos de resistência média, os provetes da casa C_03 apresentaram o pior desempenho em termos de resistência à compressão, inferior a 0,8 MPa. Acrescente-se que, da análise diferenciada dos resultados obtidos entre os provetes provenientes de casas e muros, se observa aparentemente um prevalectamento para melhores resultados em termos de rigidez (módulo de elasticidade) e resistência à compressão nos provetes provenientes de casas. Ainda assim, e de acordo com as referencias normativas consultadas, referidas anteriormente, assinala-se que em geral os valores de resistência à compressão simples obtidos para os adobes da região se encontram dentro do intervalo de valores mínimos de resistência estabelecidos pela mesmas.

Ainda em relação aos provetes “secos”, assinala-se a elevada disparidade de valores obtidos, a qual traduz de alguma forma as diferenças aparentes observadas aquando da elaboração prévia dos provetes e que em última análise expressa a grande a variabilidade de adobes existentes na região, já discutida nas secções anteriores.

Provete			Propriedades mecânicas			
			Módulo de Young [MPa]	Resistência à compressão dos provetes "secos" [MPa]	Deformação no pico [%]	Resistência à compressão dos provetes "saturados" [MPa]
Casas	Casa 1	C_01_02	230,0	1,12	6,47	--
		C_01_03	250,0	1,29	9,15	--
		C_01_04	340,0	1,32	4,50	--
		C_01_08	--	--	--	1,18
		Média	273,3	1,24	6,71	--
		AR_C_01_01 (Argamassa)	--	3,21	--	--
		AR_C_01_02 (Argamassa)	--	2,35	--	--
		Média	--	2,78	--	--
	Casa 2	C_02_01	280,0	1,25	6,54	--
		C_02_02	170,0	0,94	7,88	--
		C_02_03	160,0	0,81	5,82	--
		Média	203,3	1,00	6,75	--
	Casa 3	C_03_01	95,0	0,74	16,71	--
		C_03_02	100,0	0,91	13,15	--
C_03_03		95,0	0,61	11,69	--	
C_03_07		--	--	--	(2)	
Média		96,7	0,75	13,85	--	
Muros	Muro 1	M_01_02	110,0	0,90	8,56	--
		M_01_03	185,0	1,21	7,80	--
		M_01_04	120,0	0,74	--	--
		Média	138,3	0,95	8,18	--
	Muro 2	M_02_01	85,0	0,54	9,50	--
		M_02_02	97,0	1,07	11,47	--
		M_02_03	170,0	0,86	5,72	--
		Média	117,3	0,83	8,90	--
	Muro 4	M_04_01	120,0	0,75	6,28	--
		M_04_02	250,0	1,12	5,00	--
		M_04_03	230,0	1,09	5,36	--
		M_04_07	--	--	--	0,54
		Média	200,0	0,99	5,55	--
	Muro 5	M_05_01	340,0	2,02	10,96	--
		M_05_02	320,0	1,44	5,25	--
		M_05_03	360,0	1,71	7,12	--
		M_05_07	--	--	--	1,21
		M_05_08	--	--	--	(1)
		M_05_09	--	--	--	1,65
		Média	340,0	1,57	6,19	1,43
	Muro 6	M_06_01	--	--	--	2,14

(1) Resultado não considerado válido devido à excessiva velocidade de ensaio

(2) Resultado não considerado válido devido ao modo de rotura observado no provete

Fig.3 - Resultados dos ensaios de caracterização mecânica (Créditos: Tabela dos autores).

Em relação aos valores obtidos para os ensaios de compressão de provetes saturados observa-se que estes apesar de, como esperado, serem inferiores aos alcançados nos provetes "secos", do ponto de vista global dos resultados, encontram-se dentro do intervalo de valores obtidos de resistência à compressão "seca", entre 0,5 e 2,0 MPa. Não obstante, importa salientar algumas tendências detectadas nos resultados alcançados, quando agrupados os provetes diferenciadamente por amostras (segundo

a sua proveniência) e quando comparados com os resultados obtidos para a mesmas amostras “secas”. Assim, observa-se que, enquanto que amostras como a da casa C_01 e a do já referido muro M_05, com elevadas resistências à compressão “seca”, apresentam reduções médias de resistência à compressão quando saturados de entre 5% a 10%. No caso de provetes “secos” que apresentam valores de tensão de rotura mais reduzidos, como seja o caso M_04 (Fig.5), a diferença de resistências entre estado “seco” e saturado acentua-se, alcançando-se reduções percentuais de resistência à compressão da ordem dos 50%.

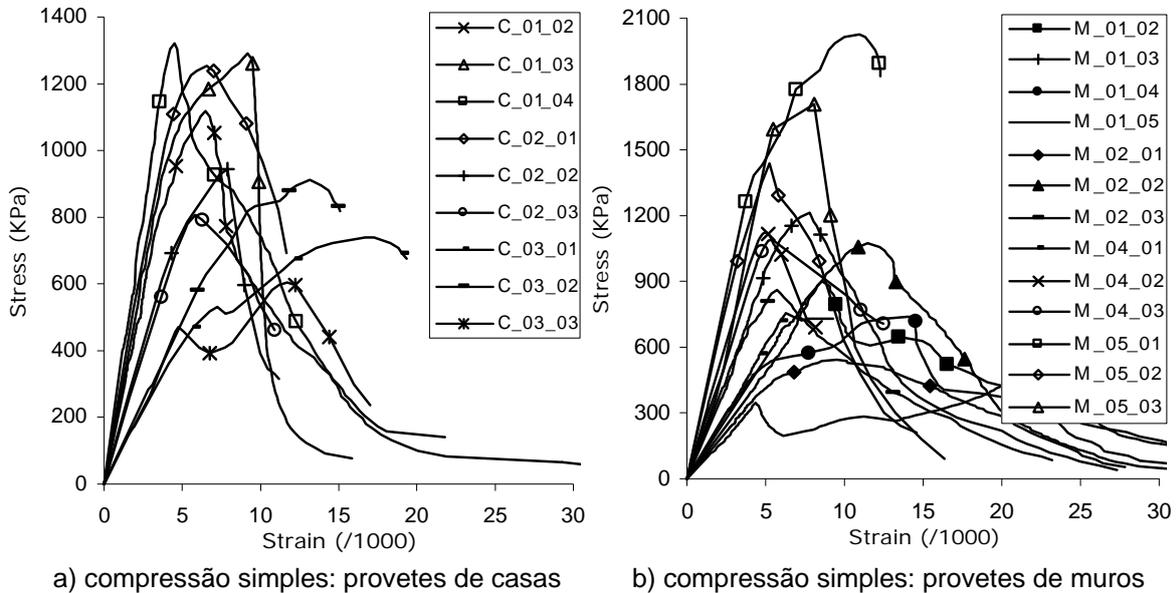


Fig.4 - Curvas de comportamento dos provetes “secos” ensaiados à compressão simples: tensão vs. deformação (Créditos: Gráficos dos autores).

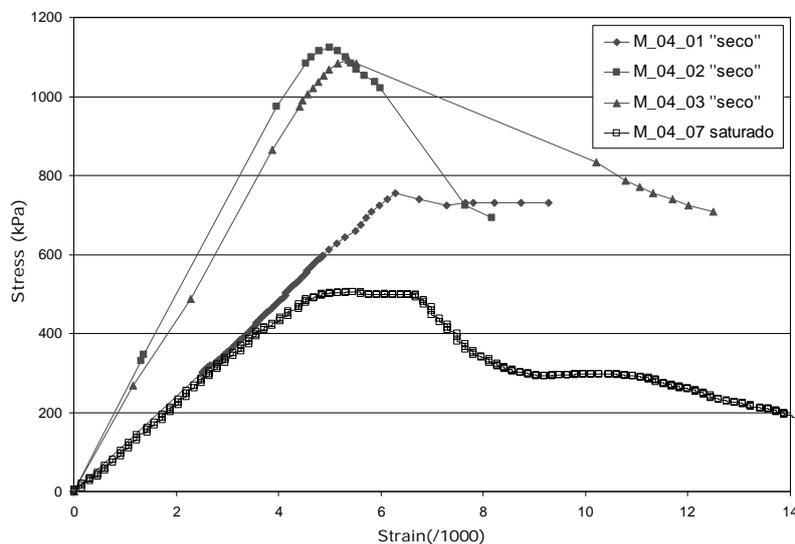


Fig.5 - Curvas de comportamento dos provetes “secos” e saturados do muro M_04 ensaiados à compressão simples: tensão vs. deformação (Créditos: Gráfico dos autores).

Neste sentido, da análise dos resultados realizada, resulta importante diferenciar adobes com valores de tensão de rotura “seca” elevados e reduzidos, sabendo que, em geral, estes se diferenciam, do ponto de vista das suas propriedades físico-mecânicas, pelo conteúdo de cal adicionado aos mesmos no processo de estabilização, durante o seu fabrico. Deste modo, aparentemente comprova-se um resultado evidente, com a adição de cal no processo de estabilização não só se

consegue uma melhoria significativa do comportamento mecânico do adobe, como também uma importante melhoria do seu comportamento face à acção da água.

Finalmente, no tocante aos ensaios de caracterização mecânica, importa destacar os significativos resultados obtidos para a resistência à compressão da argamassa de reboco da casa C_01, com um valor médio de resistência de 2,8 MPa. Estes parecem corroborar o anteriormente exposto relativamente à influência do teor de cal no comportamento mecânico do adobe. Com efeito, a explicação para a obtenção de uma resistência superior à obtida para os blocos de adobe parece residir na forma como era realizada a argamassa, na qual a percentagem de cal empregue no seu fabrico era normalmente superior à utilizada na produção dos blocos de adobe, o que lhe confere uma maior resistência mecânica. Ainda assim, e para poder aferir adequadamente este aparente comportamento diferenciado dos adobes "secos" e saturados em função do seu conteúdo de cal, que se depreende dos resultados obtidos, estima-se oportuno que a presente campanha de ensaios se amplie a um maior número de amostras, de forma a poder diferenciar de forma notória os adobes em função do seu conteúdo de cal, identificando este teor em cada amostra.

Em relação aos ensaios de absorção de água realizados, cabe destacar que estes puseram em evidência não só a já conhecida elevada porosidade aparente do adobe mas também o carácter altamente permeável do mesmo. De facto, é fundamentalmente devido ao efeito conjugado destas especificidades constitutivas do adobe, que o configuram como um material formado por um sistema poroso de elevada conectividade entre poros que facilita o fluxo de água capilar. Assim se justificam os elevados valores dos coeficientes de absorção e penetração capilar obtidos nos ensaios realizados (Fig.7), com valores médios, respectivamente, de $172,2 \text{ [g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}]$ e $0,158 \text{ [cm/s}^{1/2}]$.

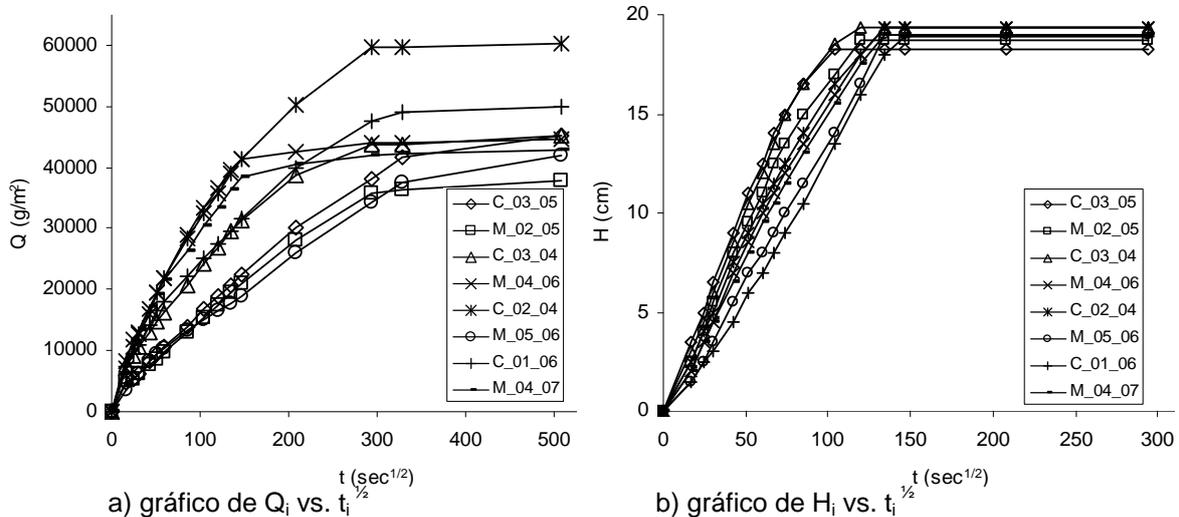


Fig.6 - Curvas obtidas nos ensaios de absorção capilar (Créditos: Gráficos dos autores).

Dos resultados de absorção capilar obtidos, assinala-se igualmente que, em relação à altura de penetração capilar (H) alcançada, atendendo ao carácter típico altamente absorvente evidenciado pelo material, em todos os provetes foi atingida a altura máxima dos mesmos. Da observação deste fenómeno em construções da região, em geral a altura capilar máxima alcançada nas alvenarias costuma ser da ordem de 50 cm. Refira-se, aliás, o curto período de tempo em que esta se produziu, não mais de 5 horas em todos os provetes.

Finalmente, ainda na Fig.7 figuram os resultados obtidos para os mesmos provetes referentes à capacidade total de absorção de água destes, expressos em percentagem de peso “seco”, sendo o seu respectivo valor médio de cerca de 15%. De referir que, com base neste resultado, e apesar da já referida inclusão de cal no fabrico dos blocos de adobe, e de acordo com as referências normativas consultadas para o mesmo, estes deverão definir-se como não estabilizados por superarem a cota máxima admissível de 2,5% de absorção, após imersão em água durante 7 dias. Assinale-se, no entanto, que para limitações de absorção após estabilização não tão estritas, como no caso já referido para os BTCs estabilizados, estes resultados encontrar-se-iam dentro dos limites preconizados para os BTCs.

Provete	Coefficiente de absorção [g/m ² .s ^{1/2}]	Coefficiente de penetração capilar [cm/s ^{1/2}]	Absorção total (7 dias de imersão) [%]
C_03_05	132,3	0,167	15,8
M_02_05	131,1	0,165	14,6
C_03_04	180,6	0,189	14,6
M_04_06	241,4	0,153	14,3
C_02_04	234,0	0,153	16,2
M_05_06	100,2	0,141	13,5
C_01_06	157,7	0,141	15,5
M_04_07	200,7	0,153	14,4
Média	172,2	0,158	14,9

Fig.7 - Síntese dos resultados dos ensaios de absorção (Créditos: Tabela dos autores).

5. CONCLUSÕES

Neste artigo são descritos e discutidos os resultados referentes a um conjunto de ensaios levados a cabo, tendo como principal motivação estudar a influência da presença de água capilar nas propriedades mecânicas do adobe da região de Aveiro.

A importância relativa dos resultados obtidos nos ensaios físico-mecânicos realizados é, no seu conjunto, função da informação que fornecem para o conhecimento do comportamento do adobe em serviço e das respostas que proporcionam face aos principais fenómenos que condicionam a sua utilização, alguns deles, como no caso do fenómeno em estudo, imprescindíveis na avaliação da aptidão do seu uso face à sua ocorrência. Assim, dos resultados obtidos na investigação desenvolvida, destacam-se as seguintes conclusões que se consideram concorrerem a este objectivo:

- Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples realizados mostram, para os dois estados de humidade em estudo (“seco” e saturado), valores significativos de resistência à compressão das amostras ensaiadas de entre 0,5 e 2,0 MPa, sendo que invariavelmente se obtêm resultados de resistência à compressão comparativamente superiores nos provetes “secos”. De salientar a grande disparidade de valores de resistência à compressão obtidos entre amostras, os quais traduzem a grande a variabilidade tipológica de adobes existentes na região.
- A análise diferenciada dos resultados obtidos, segundo a proveniência dos blocos, em termos de resistência à compressão “seca” vs. saturada, mostra uma tendência clara para maiores diferenças entre estas resistências para adobes com valores de tensão de rotura “seca” mais reduzidos (por exemplo M_04), da ordem de 50%. Enquanto que amostras com maior resistência à compressão “seca” (por exemplo C_01 e M_05), apresentam reduções médias de resistência à compressão devido à saturação dos provetes entre 5% a 10 %.

- Os resultados obtidos nos ensaios de absorção capilar realizados mostram valores significativos dos coeficientes de absorção e penetração capilar, com valores médios, respectivamente, de 172,2 [g/m².s^{1/2}] e 0,158 [cm/s^{1/2}]. Estes põem em evidência a elevada porosidade e permeabilidade do adobe, configurando-o como um material formado por um sistema poroso de elevada conectividade entre poros que permite um fluxo fácil da água capilar.
- Da análise da capacidade total de absorção de água do adobe em estudo obteve-se um valor médio de cerca de 15% do seu peso “seco”. Assinale-se que, com base neste resultado, e de acordo com as referências normativas consultadas, estes adobes deverão definir-se como não estabilizados, por superarem o limite admissível de estabilização preconizado para o mesmo de 2,5%.
- Os resultados alcançados no presente estudo permitem ainda extrair algumas indicações práticas sobre formas indirectas de caracterização do comportamento físico-mecânico do adobe, as quais concorrem de forma expedita para o conhecimento desta alvenaria. Assim, destaca-se como característica que favorece a resistência mecânica do adobe e o seu comportamento face à presença de água, a quantidade de cal utilizada no seu fabrico, cujo estudo mais detalhado se constitui como um instrumento fundamental de caracterização indirecta das propriedades do mesmo.

Bibliografia

Oliveira, E.V.; Galhano, F. (1992). *Arquitectura Tradicional Portuguesa. Portugal de perto*. Lisboa: Publicações D. Quixote.

Arango-González, J.R. (1999). Uniaxial deformation-stress behaviour of the rammed-earth of the Alcazaba Cadima. *Materials and Structures*. Universidad de Granada, Espanha.

Jiménez-Delgado, C. (2006). Tesis doctoral. *Caracterización de la construcción con tierra: ensayos y normativa*. Universidad Politécnica de Madrid, Espanha.

RILEM CPC4 (1994). *RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials*. London: E&FN Spon.

CEN, prEN 15801 (2008). *Conservation of cultural property - Test methods - Determination of absorption by capillarity*.

Faria, P. (2009). Materiais porosos inorgânicos no património arquitectónico - Avaliação da absorção capilar. *PATORREB 2009: 3.º Encontro sobre patologia e reabilitação de edifícios*. Porto: 18 a 20 de Março.

NMAC 14.7.4 (2003). *New Mexico Earthen Building Materials Code*. Santa Fé, NM: Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department.

ARS 674:1996 (1996). African Regional Standard. *Compressed Earth Blocks: Technical specifications for ordinary compressed earth blocks*. Nairobi, Kenya: ARSO.

NBR 8492 MB1960 (1984). *Tijolo maciço de solo-cimento: Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água*. Rio de Janeiro: ABNT.

Ottazzi, P.G.; Martins, N.C.; Vargas, N.J.; Ribas, H.J.; San-Bartolomé, R.A.; Silva, S. (1995). Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento. *Red temática XIV.A: HABITERRA Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social*.

Curriculum

Tiago Martins, Engenheiro Civil (UA, 2005), Mestre em Restauración Arquitectónica pela Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad Politécnica de Madrid (UPM, 2006) e aluno do Doutoramento de “Edificación” na Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos da UPM.

Humberto Varum, Engenheiro Civil, Ph.D, Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação, reabilitação e reforço sísmico de estruturas, e particularmente sobre reabilitação de construções em terra.

Aníbal Costa, Engenheiro Civil, Ph.D, Professor Catedrático da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação, reabilitação e reforço sísmico de estruturas, e particularmente sobre reabilitação de construções em terra.