

## CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAREDES DE ALVENARIA DE ADOBE

Humberto Varum<sup>\*</sup>, Aníbal Costa<sup>\*\*</sup>, Henrique Pereira<sup>\*\*\*</sup>, João Almeida<sup>\*\*\*</sup>, Hugo Rodrigues<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Professor Auxiliar; <sup>\*\*</sup> Professor Catedrático; <sup>\*\*\*</sup> Engenheiro Civil; <sup>\*\*\*\*</sup> Mestre em Estruturas  
Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal  
hvarum@civil.ua.pt



### RESUMO

*Em Portugal a construção em adobe foi muito utilizada até meados do século XX, sobretudo na região de Aveiro. Actualmente cerca de 25% das construções existentes na cidade são de adobe e 40% na região de Aveiro. Dada a falta de informação técnica sobre as propriedades mecânicas dos elementos em adobe, foram desenvolvidos ensaios para a sua caracterização sobre amostras representativas destas construções em Aveiro. Foram ensaiadas paredes em laboratório e in-situ. Neste artigo apresentam-se os principais resultados dos ensaios realizados, que permitirão caracterizar as construções existentes, interpretar as patologias estruturais mais comuns, calibrar modelos numéricos, avaliar a segurança e desenvolver soluções de reforço adequadas.*

### 1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, é predominante no sul e centro litoral. O norte e centro interior são dominados pela alvenaria de pedra. A técnica de construção em terra mais utilizada no sul é a taipa. Relativamente ao adobe e apesar da sua enorme heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo ao centro litoral, nomeadamente no distrito de Aveiro.

É evidente o nível de degradação e abandono patente nas construções em adobe da região de Aveiro, contudo podem-se ressaltar casos em que as construções se encontram plenamente capazes de cumprir as funções para as quais foram pensadas e construídas, bastando para tal pequenas

obras de manutenção e conservação. Regra geral, a demolição tem sido a solução adoptada para estas construções. Porém, nos últimos anos, tem-se recorrido pontualmente à reabilitação e reforço das construções em adobe por parte de alguns proprietários sensibilizados com a sua salvaguarda e preservação. A opção de reabilitar apresenta dificuldades associadas devido à falta de informação sobre as propriedades e características de comportamento mecânico do adobe, sendo necessário estudos técnicos para determinar propriedades como: o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, tracção e corte, e a sua composição.

A caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas, bem como de paredes de alvenaria em adobe das construções existentes, são instrumentos fundamentais no apoio à realização de

projectos de consolidação, reabilitação ou reforço deste tipo de construções.

## 2. CONSTRUÇÕES EM ADOBE NO DISTRITO DE AVEIRO

Em Portugal, a construção em alvenaria resistente em adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do séc. XIX, teve o seu auge na primeira metade do séc. XX, vindo a ser gradualmente abandonada nos anos sessenta até ao seu desaparecimento como técnica construtiva. Actualmente são, ainda, vários os exemplos de património histórico, sobretudo ligados à Arte Nova, movimento artístico e arquitectónico dominante à época, edificados neste tipo de alvenaria. Do mesmo modo, pese embora o estado de degradação patenteado, são ainda inúmeros os exemplos de edifícios de habitação e serviços, alguns de dimensões consideráveis, que continuam a satisfazer as funções para as quais foram projectados, atestando a longevidade do adobe como material de construção.

O emprego deste material na região era feito sobretudo na construção de casas e muros, embora sejam conhecidas outras utilizações como na construção de muros de suporte de terras ou poços de água (Fig. 1). De tal forma se faz ainda sentir a presença da construção em adobe na região que, segundo dados da Câmara Municipal de Aveiro, cerca de 20~25% da construção existente na cidade, actualmente, é de adobe enquanto que referindo-se à região a percentagem sobe para os 35-40%.

Regra geral, os blocos de adobe eram realizados com terra arenosa húmida, que depois de amassada e metida em formas, era seca ao sol. Para o melhoramento do seu desempenho mecânico era relativamente frequente a inclusão de cal e, por vezes, de palha. As dimensões correntes, pese embora a existência de inúmeras tipologias identificadas, variavam, sobretudo, consoante o uso, sendo de aproximadamente  $0.45 \times 0.30 \times 0.15\text{m}$  quando utilizados em casas e de  $0.45 \times 0.20 \times 0.15\text{m}$  quando utilizados na construção de muros.



**Fig. 1** - Alguns exemplos de construções em adobe no distrito de Aveiro.

O adobe não foi somente utilizado em construções pequenas e modestas, como por exemplo casas rurais, arrecadações, armazéns, muros de propriedades ou poços de água. Foi também empregue em obras maiores, mais nobres e ricas, tendo algumas delas nos nossos dias um elevado valor patrimonial e cultural, nomeadamente igrejas, casas de espectáculos, grandes mansões, algumas destas com uma arquitectura de estilo Arte Nova. Os materiais de construção, as técnicas e as soluções construtivas tendem a ser fortemente influenciados pelo poder económico dos proprietários. No entanto, dada a limitação de disponibilidade de outros materiais na região, o adobe foi utilizado de uma forma generalizada durante um largo período na região de Aveiro.

Nas zonas rurais havia a preocupação em orientar as casas a sul, provendo-as de maiores ganhos solares. Também os anexos e as dependências agrícolas encontravam-se alinhadas e viradas a sul. As habitações são geralmente compostas por um corpo rectangular principal. Nos meios rurais, normalmente, são compostas unicamente por um piso térreo e em caso de necessidade de criar novos espaços era feita uma ampliação na horizontal. Nas zonas urbanas predominam as habitações de dois pisos.

Na execução de alvenaria de adobe, recorreu-se frequentemente à utilização de

contrafortes maciços posicionados perpendicularmente às paredes, realizados geralmente em adobe, sendo muito utilizados em muros.

O adobe não é muito resistente à água. De forma a protegê-lo da humidade ascensional, no caso das paredes, o adobe era normalmente assente sobre um primeiro alicerce em pedra, evitando o contacto directo com o solo. No caso dos poços de água, a opção por uma composição melhorada do adobe com recurso à adição de cal, garante o adequado comportamento e durabilidade, apesar do contacto directo com a água.

Nas construções de adobe encontram-se frequentemente soluções simples e engenhosas tais como a utilização de barrotes de madeira, arcos mais ou menos elaborados realizados com os mais diversos materiais (pedra, madeira, tijolo e até em adobe), utilizadas para melhorar a limitada resistência do material, procurando vencer os vãos das aberturas, melhorando a distribuição das cargas nos elementos estruturais.

A grande heterogeneidade de dimensões e de constituição do adobe dificulta a caracterização e o estudo da construção em adobe. Podem-se encontrar paredes resistentes realizadas em adobe extremamente fraco, como por exemplo em terra preta (rica em matéria orgânica), ou em adobe melhorado com inclusão de palha para melhorar as suas propriedades mecânicas. Em alguns casos encontra-se na mesma parede diferentes tipos de adobe misturados de uma forma mais ou menos aleatória com outros materiais, como por exemplo a pedra.

### **3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E MECÂNICA DE BLOCOS DE ADOBE**

Foram efectuados levantamentos e uma campanha de ensaios para estudar o comportamento e as propriedades mecânicas do adobe desta região, nomeadamente: levantamentos dimensionais, estudo da composição granulométrica dos diferentes tipos de adobe da região e ensaios de caracterização do comportamento mecânico deste material (em tracção e compressão).

#### **3.1. Selecção de amostras**

Dada a grande variabilidade de adobes existentes na região, quer ao nível dimensional quer da sua constituição, seleccionaram-se um conjunto de amostras representativas das suas tipologias na região de Aveiro. Para tal, foram recolhidas amostras de muros e casas em distintos locais de forma a caracterizá-lo o mais amplamente possível.

A proveniência do adobe foi sempre assinalada em ortofotomapas de forma a registar o local exacto da construção estudada. Esta referência ao local de proveniência permite analisar quais as zonas da região que têm solos com melhores características para a construção de alvenaria em adobe.

Para facilitar a identificação e análise, os provetes foram numerados e seriados, segundo a sua proveniência, diferenciando, respectivamente, amostras de casas ( $H$ ) e muros ( $W$ ) com a notação:  $H_{i_j}$  e  $W_{i_j}$ , onde o índice  $i$  representa o número da obra, e o índice  $j$  representa o número do carote extraído.

Foram recolhidas amostras de adobe constituídas, sempre que possível, por blocos inteiros, e quando possível foram retiradas amostras de argamassa de junta e de reboco.

Das amostras recolhidas de adobes foram retirados carotes cilíndricos com diâmetro compreendido entre 70 e 90mm. 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 perpendiculares ao seu eixo.

#### **3.2. Caracterização granulométrica**

Dado que a maioria dos adobes de Aveiro são constituídos essencialmente por solos arenosos, tendo em certos casos a presença de argilas e cal aérea, uma caracterização básica da sua composição foi efectuada pela análise granulométrica por peneiração seca. Do traçado das curvas granulométricas (ver Fig. 2), de amostras das construções em estudo, ressaltam dois factos relevantes:

a) a maioria dos agregados que compõem os adobes existentes nas construções estudadas foram classificados como areias grossas. No entanto, embora menos comum, também surgem amostras com maior índice de finos.

b) a elevada fracção de agregados de dimensões superiores a 2.5mm, em alguns dos casos dificultou a extracção de carotes com diâmetro regular, sendo mesmo praticamente inexecutável a extracção para alguns tipos de adobe.

### 3.3. Ensaios de compressão

Foram submetidos 102 provetes cilíndricos a ensaios de compressão a fim de determinar a resistência mecânica. Dos quais, 51 eram provenientes de amostras de casas e 51 de muros.

As amostras na sua maioria foram ensaiadas à compressão simples, tendo sido algumas delas ensaiadas à compressão diametral, para tal recorreu-se a uma prensa mecânica universal. Na Secção 3.5 serão apresentados os resultados mais relevantes obtidos nestes ensaios mecânicos.

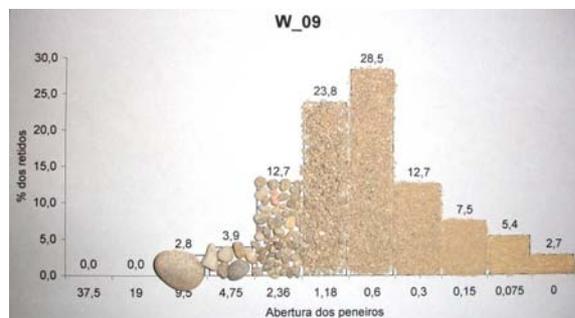


Fig. 2 – Gráfico de curva granulométrica.

### 3.4. Ensaios de ultra-sons

Complementarmente aos ensaios mecânicos de compressão, em prensa mecânica, foram realizados ensaios de ultra-sons, com recurso a um equipamento tipo PUNDIT (Fig. 3).

Este ensaio não-destrutivo indirecto, foi efectuado para investigar a eventual correlação com a resistência dos provetes à compressão e com o seu módulo de elasticidade. É investigada a relação entre a velocidade de propagação de ondas neste material e os parâmetros mecânicos em estudo.



Fig. 3 – Ensaio com PUNDIT de um carote.

Os ensaios foram realizados sobre 60 provetes. Cada provete foi ensaiado em três estados, nomeadamente saturado, à humidade ambiente e seco. Pretendeu-se assim verificar a variação da resistência do adobe com o teor de humidade. No gráfico da Fig. 4 apresentam-se a título de exemplo, os resultados obtidos para a humidade ambiente da velocidade de propagação *versus* a tensão de rotura avaliada nos ensaios mecânicos. Genericamente, observou-se uma tendência de maiores velocidades para as amostras com maior resistência. Contudo, a correlação encontrada é reduzida, o que indica que o ensaio não destrutivo utilizado não é indicado para estimar a resistência do adobe.

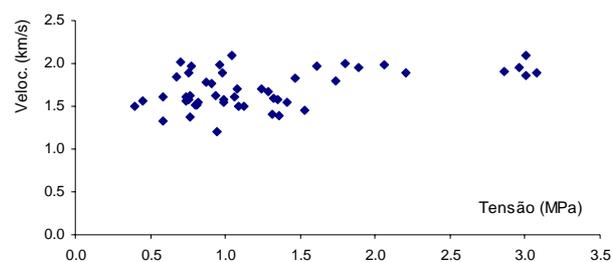


Fig. 4 – Resultados dos ensaios com ultra-sons para a humidade ambiente.

No gráfico da Fig. 5 estão representados os resultados obtidos para os provetes ensaiados e para os três estados considerados. Também neste gráfico é evidente a reduzida sensibilidade das medições com o PUNDIT, o que se traduz numa tendência não clara da velocidade de propagação com o teor de humidade.

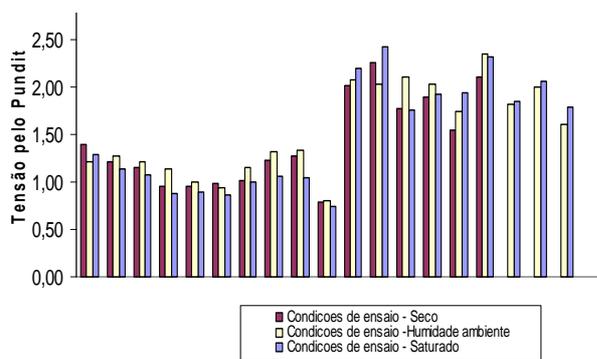


Fig. 5 – Resultados dos ensaios para diferentes teores de humidade.

### 3.5. Análise e interpretação dos resultados dos ensaios mecânicos

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples (Tab. 1) mostram valores significativos da resistência à compressão das amostras ensaiadas (0.5-3.0MPa), sendo que para a resistência à tracção, igualmente expressivos, os resultados obtidos correspondem a valores de aproximadamente 20% da resistência à compressão respectiva.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de casas e muros.

Amostra	Módulo de Young (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Deformação para a resistência máxima (mm/mm)	Resistência à tracção (MPa)
House 1	273.3	1.24	0.007	0.13
House 2	203.3	1.00	0.007	0.19
House 3	96.7	0.75	0.014	0.19
House 4	53.3	0.72	0.042	--
House 5	447.5	2.15	0.015	--
House 9	93.0	0.73	0.013	--
House 10	335.8	1.99	0.009	--
House 11	147.3	1.10	0.011	--
Wall 1	138.3	0.95	0.008	--
Wall 2	117.3	0.83	0.009	0.13
Wall 4	200.0	0.99	0.006	0.12
Wall 5	340.0	1.72	0.008	0.40
Wall 6	212.0	1.27	0.018	--
Wall 7	104.5	0.81	0.012	--
Wall 9	127.2	1.07	0.019	--
Wall 10	160.6	0.99	0.013	--

Do ponto de vista da distribuição granulométrica dos agregados constituintes das amostras ensaiadas, a análise

granulométrica revelou uma clara tendência de que as amostras com maior fracção de partículas de menores dimensões apresentam valores de resistência à compressão e tracção superiores.

## 4. ENSAIOS SOBRE PAREDES DE ALVENARIA EM ADOBE

Dada a falta de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas (rigidez, capacidade resistente, capacidade de dissipação de energia, mecanismo de colapso) dos elementos resistentes em alvenaria de adobe nas construções existentes desta região, foram efectuados ensaios sobre paredes, em laboratório e *in-situ*, sob solicitações verticais para simular as acções permanentes e sobrecargas, combinadas com solicitações horizontais cíclicas, como as induzidas por sismos.

### 4.1. Ensaio em laboratório

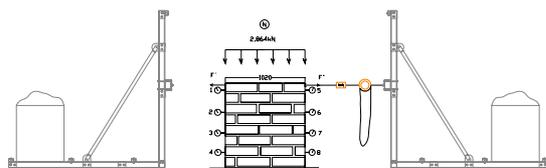
Com blocos de adobe recolhidos em construções existentes na região de Aveiro e com uma argamassa produzida com composição análoga à usada tradicionalmente nessas edificações de adobe, foi construída uma parede e ensaiada no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

A parede construída tem uma altura de 1.08m, largura de 1.02m e a espessura de um adobe, neste caso 0.185m. O apoio na base simula uma ligação de encastramento (rotação impedida para fora do plano da parede) que foi realizada com recurso a uma lajeta de betão fixa através de varões roscados à laje de reacção do laboratório.

Como já foi referido, na construção da parede usaram-se adobes retirados de uma casa existente na região, cujos valores médios da resistência à compressão e do módulo de elasticidade, determinado em ensaios mecânicos, assumem valores de 1.10MPa e 147.3MPa, respectivamente. Para as juntas de assentamento usou-se uma argamassa com resistência à compressão de 1.42MPa e módulo de elasticidade de 112.8MPa.

Foram realizados dois tipos de ensaios sobre a parede. Inicialmente, em ensaios dinâmicos não destrutivos, foram medidas as frequências próprias da parede, que permitem caracterizar o seu comportamento dinâmico e a calibração de modelos numéricos. Numa segunda fase, foi efectuado um ensaio destrutivo com imposição de forças cíclicas horizontais no plano da parede.

Na Fig. 6 representa-se um esquema geral da parede e do dispositivo de ensaio.



**Fig. 6** – Esquema de ensaio da parede em laboratório.

#### 4.1.1. Ensaio dinâmico

Foi feita a leitura, através de um sismógrafo, da frequência própria na direcção horizontal transversal. Como excitação aplicou-se um impulso dinâmico sobre a parede. Das acelerações registadas no sismógrafo (ver Fig. 7) derivou-se a frequência de 10.94Hz na direcção transversal da parede.



**Fig. 7** – Leitura com sismógrafo de acelerações (em laboratório).

Assumindo para a parede um funcionamento em consola de um elemento com secção transversal constante, encastrado na base e com massa uniformemente distribuída em altura, pode estimar-se a frequência própria através da seguinte expressão:

$$E = \frac{\omega^2}{1.875^4} \cdot \frac{mL^4}{I}$$

onde,  $E$  representa o módulo de elasticidade médio da parede;  $\omega$  a frequência da parede (em rad/s; funcionamento em consola);  $I$  o momento de inércia da secção transversal;  $m$  a massa por unidade de comprimento da parede; e,  $l$  a altura total. Através da expressão apresentada e tendo como base a frequência transversal medida obtém-se para o módulo de elasticidade médio da parede um valor de 310MPa.

#### 4.1.2. Ensaio cíclico

Executaram-se ensaios cíclicos semi-destrutivos sobre a parede construída em laboratório (ver Fig. 8).

Depois de aplicada a carga vertical (2.86kN) sobre a parede, foram impostas forças horizontais no plano da parede, em ciclos de amplitude crescente até ao colapso da parede, e mediram-se os deslocamentos. A força horizontal máxima aplicada na parede foi de 3.20kN (ver Fig. 9).

O modo de rotura verificado na parede é o típico destas paredes de alvenaria e para os níveis de tensão vertical em causa. Este traduziu-se pela abertura de uma fenda horizontal na base da parede. O valor reduzido da carga vertical induz um comportamento tipo mecanismo de corpo rígido, traduzido num movimento de rotação da parede quase intacta sob os seus cantos inferiores (*rocking*). A resposta à solicitação horizontal cíclica aplicada sobre a parede pode ser observada no gráfico da Fig. 9.



**Fig. 8** – Dispositivo de ensaio cíclico da parede de adobe em laboratório.

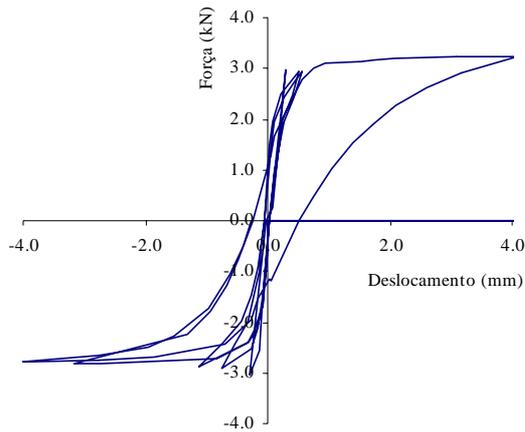


Fig. 9 – Força versus deslocamento no topo da parede.

Na Fig. 10 apresentam-se os perfis de deformação da parede para cada pico de força imposta. Para forças aplicadas inferiores à cedência (aproximadamente 3kN) a deformação é relativamente contida. Uma vez ultrapassado este valor, as deformações crescem consideravelmente.

Na Fig. 11 apresenta-se a evolução da energia dissipada ao longo do ensaio cíclico. É evidente a não linearidade da resposta, mas com dano limitado, uma vez que grande parte da energia aplicada é recuperada após as descargas. A energia dissipada é cerca de 50% da energia máxima aplicada.

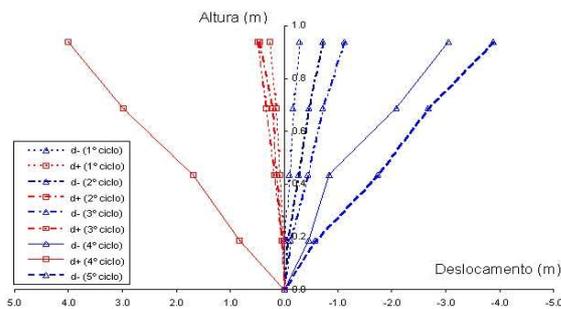


Fig. 10 – Ensaios cíclicos: evolução da deformada.

#### 4.2. Ensaios *in-situ*

Foram iniciados trabalhos de caracterização mecânica *in-situ* do comportamento de paredes de alvenaria de adobe, com representação das reais condições materiais, de apoio e de ligação a outros elementos estruturais (ver exemplo na Fig. 12).

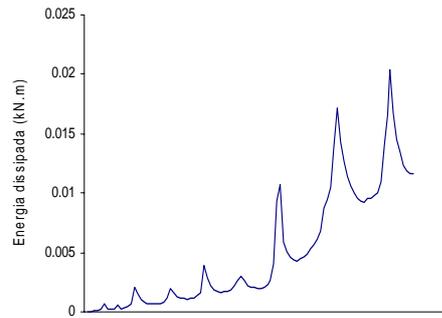


Fig. 11 – Evolução da energia total ao longo do ensaio.

O facto de se executarem os ensaios na própria construção e não em modelos realizados em laboratório, permite avaliar o funcionamento global da estrutura, podendo-se assim obter valores que melhor descrevem o comportamento dos diferentes elementos e avaliar de forma mais rigorosa as condições de funcionamento estrutural, quer nas ligações entre paredes, quer o efeito das coberturas nas paredes estruturais ou a influência das aberturas e de outras singularidades.



Fig. 12 – Parede ensaiada *in-situ*.

A metodologia e o esquema de ensaios *in-situ* (Fig. 11) são semelhantes aos ensaios realizados em laboratório, anteriormente descritos. Realizaram-se também medições *in-situ* de acelerações, com recurso a um sísmógrafo, para estimar as frequências próprias dos elementos estruturais em estudo.

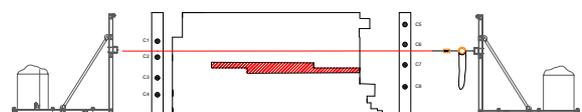


Fig. 13 – Esquema de ensaio da parede *in-situ*.

### 4.2.1. Ensaios dinâmicos

De forma análoga ao procedimento utilizado para a parede ensaiada em laboratório, foram também feitos ensaios dinâmicos sobre a parede antes do ensaio, para estimar a sua frequência própria e, de forma simplificada, estimar o módulo de elasticidade médio da parede (Fig. 14). Das acelerações registadas no sismógrafo estimou-se para a primeira frequência o valor de 2.20Hz na direcção transversal da parede.



Fig. 14 – Leitura com sismógrafo de acelerações (*in-situ*).

Assumindo para a parede um funcionamento em consola, secção transversal constante, encastrada na base e com massa uniformemente distribuída em altura, e com recurso à fórmula apresentada na Secção 4.1.1, estimou-se o módulo de elasticidade. Através da expressão apresentada, e tendo como base a frequência transversal estimada, obteve-se para o módulo de elasticidade médio da parede medido um valor de 101.2MPa.

### 4.2.2. Ensaios cíclicos

De forma a caracterizar o comportamento de uma parede da construção em estudo, no plano e fora do plano, executaram-se numa primeira fase ensaios cíclicos semi-destrutivos no plano e, numa segunda fase, ensaios cíclicos destrutivos fora do plano, impondo-se forças controladas e registando-se os correspondentes valores de deslocamento em vários pontos da parede.

Nos ensaios não foi considerada qualquer carga vertical adicional, de forma a simular o real funcionamento da parede em estudo. As forças horizontais impostas no ensaio no plano da parede, são aplicadas em ciclos sucessivos de amplitude crescente, com carga, descarga, e recarga em sentido oposto. No ensaio fora do plano foram impostos ciclos de carga-descarga num só sentido, de amplitude crescente até ao colapso total da parede.

#### 4.2.2.1 Ensaios cíclicos no plano

Para a realização do ensaio cíclico no plano foi montado o esquema de ensaios de acordo com o representado na Fig. 13. Foram registados os deslocamentos em vários pontos em função da força aplicada. Na Fig. 15 apresenta-se a evolução da força horizontal cíclica aplicada à parede.

Na Fig. 16 representam-se os gráficos que relacionam a força aplicada à parede no plano com o deslocamento de topo medido, à esquerda e à direita. Na Fig. 17 apresenta-se a evolução da energia dissipada ao longo do ensaio cíclico, calculada com os deslocamentos medidos à esquerda e à direita.

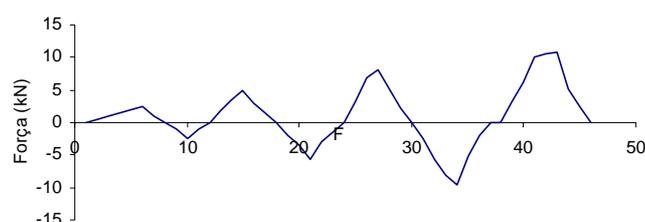
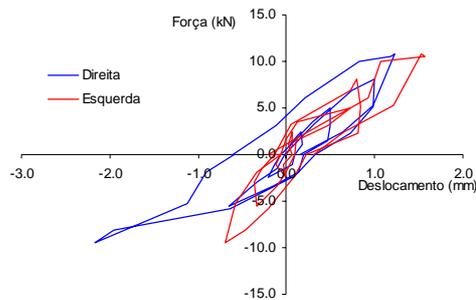
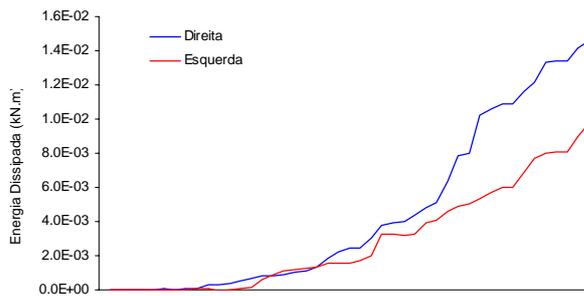


Fig. 15 – Evolução da força aplicada ao longo do ensaio.

Da análise dos resultados dos ensaios apresentados nos gráficos anteriores observa-se que a força horizontal máxima aplicada na parede foi de 10.7kN. Não se elevou a carga a um nível superior, até à rotura, para que fosse possível realizar um segundo ensaio cíclico fora do plano. Da análise dos gráficos que relacionam os deslocamentos no topo da parede (à esquerda e à direita) com a força aplicada e a evolução da energia dissipada, podem-se verificar diferenças significativas,



**Fig. 16** – Força versus deslocamento no topo da parede.



**Fig. 17** – Evolução da energia total ao longo do ensaio.

devido ao comportamento não simétrico da parede. Contudo, ambos apresentam a mesma tendência. De uma forma global, e apesar das diferenças na evolução força-deslocamento, a rigidez inicial medida em ambas as faces da parede é semelhante.

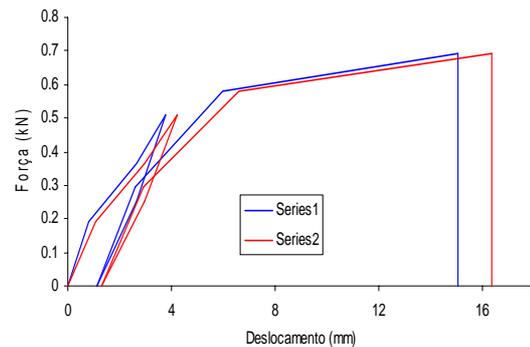
#### 4.2.2.2 Ensaios cíclicos fora do plano

Para a realização do ensaio da parede fora do plano foi montado um novo dispositivo de ensaio, concebido para aplicar forças apenas num sentido, ou seja, ciclos carga-descarga sem inversão do sinal da força. Foram adoptados dois alinhamentos de transdutores. Cada alinhamento foi colocado a um terço do desenvolvimento da parede em planta (ver Fig. 18).

Na Fig. 19 são representados os gráficos que relacionam a força aplicada à parede fora do plano com o deslocamento medido no topo. Como se pode observar, a força horizontal máxima aplicada na parede foi de 0.69kN, sendo um nível de força muito baixo, quando comparado com a força horizontal aplicada no plano (10.7kN, como apresentado na Secção 4.2.2.1). O colapso



**Fig. 18** – Ensaio da parede *in-situ* fora do plano: transdutores e aplicação da força horizontal.



**Fig. 19** – Resultados do ensaio *in-situ* da parede fora do plano: força versus deslocamento.

da parede fora do seu plano deu-se para um deslocamento de 16mm, a que corresponde um drift aproximado de 0.95%.

Comparando os resultados do ensaio no plano e fora do plano, verificam-se valores de *drift* semelhantes para forças 15 vezes superiores (no caso do ensaio no plano). Isto demonstra que a vulnerabilidade deste tipo de elementos estruturais face a acções horizontais, como os sismos, é significativamente superior quando solicitadas fora do plano. O modo de rotura verificado na parede é associado a uma rotação pela base, apesar da pronunciada fragilização da parede a meia altura.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro têm sido desenvolvidos trabalhos de investigação em laboratório e *in-situ* para a caracterização estrutural da construção em adobe na região de Aveiro. Foram estudadas várias obras representativas da construção local. No âmbito do projecto é realizado o levantamento

detalhado da construção e das patologias mais comuns, são realizados ensaios de caracterização dos materiais (adobe e argamassas) e das paredes, e são desenvolvidos modelos numéricos que representam o comportamento estrutural, e permitem verificar a segurança e/ou dimensionar o seu reforço.

Futuramente, serão desenvolvidas fichas de caracterização das construções, organizadas de forma a criar uma base que permita concluir acerca, por exemplo, da influência das soluções construtivas no desempenho das estruturas, da correlação entre o tipo de solo local e a resistência do adobe. Os resultados obtidos nos ensaios dos blocos e paredes de adobe são usados na modelação das construções, com recurso a ferramentas numéricas baseadas no método dos elementos finitos, usando elementos de casca rectangulares, adoptando um comportamento elástico-linear e isotrópico.

Destas análises numéricas obtêm-se as frequências próprias e as correspondentes configurações modais associadas ao modelo em análise.

Com estes procedimentos, ensaios combinados com análises numéricas consegue-se a representação do comportamento estrutural destas construções, uma rigorosa avaliação da segurança sísmica e apoio no dimensionamento de soluções de consolidação e reforço adequadas a cada construção.

A motivação para a realização destes trabalhos surge do interesse geral na reabilitação destas construções por parte de entidades públicas e particulares e de, em muitos casos, não se proceder à sua reabilitação por falta de informação técnica e conhecimento do seu comportamento.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores do artigo agradecem o apoio das empresas MARTIFER e CIVILRIA Construções SA, e aos proprietários e habitantes das obras em estudo que amavelmente e pacientemente abriram as portas das suas casas para a realização dos ensaios.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Veiga Oliveira, E.; Galhano, F. *Arquitectura Tradicional Portuguesa*. Portugal de Perto Publicações D. Quixote. Portugal. 1992.
- [2] Seminário. *Arquitecturas de Terra*. Museu Monográfico de Conímbriga. Ed CCRCentro. Portugal. 1992.
- [3] Moropoulou, A. *et al.* "San Francisco Monastery - Characterization of Building Materials, Damage assessment and conservation considerations". *Journal of Cultural Heritage* 4. Ecuador. 2003. pp. 101-108.
- [4] Hernandez, R.S.; Barrios, M.S.; Pozas, J.M.M. "Characterization of ancient construction materials (mud walls and adobe) in the Churches of Cisneros, Villada and Boada de Campos (Palencia)". *Materiales de Construcción*, Vol. 50, N. 257. 2000. pp. 33-45.
- [5] PUCP/CIID. *Nuevas Casas Resistentes de Adobe*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID). Perú.
- [6] Varum, H.; Martins, T.; Velosa, A. "Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro". IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, 8 a 10 de Outubro de 2005.
- [7] Varum, H.; Velosa, A.; Rodrigues, H. *Relatório Técnico - Avaliação do comportamento estrutural da Torre Medieval de Vilharigues, Vouzela*. Câmara Municipal de Vouzela - Universidade de Aveiro. Agosto de 2004. Portugal.
- [8] Clough, R.W.; Penzien, J. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill, USA 1975.
- [9] Pinho, F.F.S. *Modelação do reforço estrutural de um monumento*. Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Portugal, 2000.
- [10] Millard, A. *CASTEM-2000: Guide d'utilisation*. Rapport CEA 93/007. France. 1993.
- [11] Varum, H.; Costa, A.; Pereira, H.; Almeida, J. "Ensaio de caracterização do comportamento estrutural de construções existentes em adobe". V SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra e I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra, Mendoza, Argentina, 14 al 17 de junio de 2006.