

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE CONSTRUÇÕES EXISTENTES EM ADOBE

Humberto Varum, Aníbal Costa, Henrique Pereira, João Almeida

Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, PORTUGAL
Tel.: +351 234 370938 - Fax: +351 234 370094 - E-mail: hvarum@civil.ua.pt

Tema 5: Património edílico: Investigación e Intervención

Palavras-chave: Paredes de adobe, Ensaios, Caracterização mecânica

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. Estes números sobem para 40% se referidos à região de Aveiro.

O adobe foi utilizado nas mais variadas construções, desde edifícios rurais, edifícios urbanos de maior porte, muros, poços de água, igrejas e armazéns. De destacar inúmeros edifícios de elevado valor histórico e patrimonial que foram também construídos em adobe, como por exemplo alguns edifícios de Arte Nova.

Muito deste património de construções existentes em adobe na região de Aveiro apresenta uma pronunciada degradação estrutural, e em muitos casos encontra-se mesmo no limiar da ruína, devido sobretudo à falta de manutenção e conservação destas construções.

Da falta de sensibilidade no passado para a preservação deste património, por um lado, e por outro da falta de conhecimento relativo ao comportamento destes materiais, resultou o estado actual das construções existentes em adobe.

Para colmatar a falta de informação técnica acerca das propriedades mecânicas e comportamento dos elementos em adobe, a Universidade de Aveiro tem vindo a desenvolver nos últimos anos estudos e ensaios de caracterização deste tipo de construção na região, nomeadamente pela realização de levantamentos dimensionais, estudo da composição dos diferentes blocos de adobe e das argamassas de junta e reboco, e do seu comportamento mecânico.

Foram recolhidas amostras de adobe de muros e de casas representativas da construção na região de Aveiro. Os provetes extraídos destas amostras foram ensaiados à compressão simples e à compressão diametral. Foram também construídos muretes à escala e estes foram ensaiados à compressão perpendicular às juntas de assentamento e na direcção diagonal. Para além dos ensaios laboratoriais foram efectuados ensaios mecânicos “in situ” sobre paredes existentes de adobe.

Os resultados obtidos com os ensaios efectuados servem de suporte para futuras intervenções de reabilitação e eventual reconstrução. Estes resultados servem de suporte à caracterização da construção existentes, à interpretação das patologias estruturais verificadas, à calibração dos modelos numéricos para simulação do comportamento destas construções, na avaliação da segurança estrutural e no dimensionamento de eventuais soluções de reforço.

Pretende-se com este artigo apresentar e discutir os resultados principais dos ensaios realizados.

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 construtiva 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 ressalvar 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 acrescidas devido à falta de informação sobre as propriedades e caracterização mecânica do adobe, sendo necessário estudos técnicos para determinar propriedades como: o módulo de elasticidade, a sua resistência à compressão, tracção e corte ou a sua composição, entre outros.

A caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas bem como de alvenarias em adobe, são instrumentos fundamentais no apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente.

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.



Fig. 1 - Construções em adobe no distrito de Aveiro.

O emprego deste material, na região, era feito sobretudo na construção de casas e muros, embora lhe sejam conhecidas outras utilizações como sejam a construção de muros de suporte de terras ou até mesmo de poços de água (Fig. 1). De tal forma se faz ainda sentir a

presença da construção em adobe na região que, segundo dados do município 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 0.45x0.30x0.15m quando utilizados em casas e de 0.45x0.20x0.15m quando utilizados na construção de muros.

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 mais nobres e ricas que nos nossos dias têm um elevado valor histórico 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 à parede, 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 é 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 mecânica e granulométrica de elementos de adobe

Foi desenvolvida uma campanha de ensaios para se obter mais informação sobre o comportamento e propriedades mecânicas do adobe nesta região, realizaram-se ensaios de caracterização deste material, nomeadamente a realização de levantamentos dimensionais, estudo da composição granulométrica dos diferentes adobes da região e do seu comportamento mecânico.

3.1. Selecção de amostras

Dada a grande variabilidade, quer ao nível dimensional quer da sua constituição, de adobes existentes na região, tentou-se seleccionar 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 é importante pois permite analisar quais as zonas da região que têm solos com melhores características para a usar na 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 e muros com a notação: H _ i _ j e W _ i _ j , onde i representa o número da obra, e o índice j , representa o número do carote extraído.

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

Das amostras recolhidas foram retirados carotes cilíndricos com diâmetro compreendido entre 70 e 90mm. Estes foram posteriormente cortados com uma altura igual a duas vezes o 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 o adobe recolhido é constituído 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, de amostras das construções em estudo, ressaltam dois factos relevantes:

- 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.
- 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 fazer essa extracção para alguns tipos de adobe.

3.3. Ensaios de compressão

Foram submetidos 97 provetes cilíndricos a ensaios de compressão a fim de determinar a resistência mecânica. Dos quais, 51 eram provenientes de amostras de casas e 46 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 3.4 serão apresentados os resultados mais relevantes obtidos nestes ensaios.

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. 2). Estes ensaios foram efectuados para verificar a eventual correlação com a resistência dos provetes à compressão e com o seu módulo de elasticidade. Sendo este um tipo de ensaio

não-destrutivo indirecto foi determinada uma relação entre a velocidade de propagação de ondas neste material e os parâmetros mecânicos em estudo.

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.

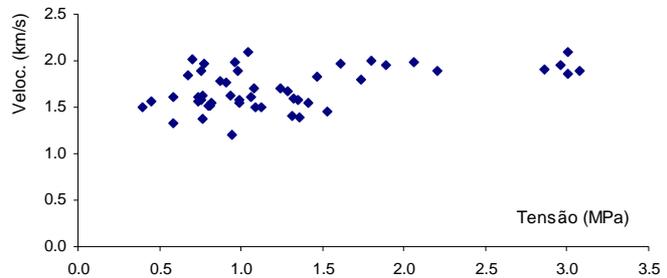


Fig. 2 – Ensaio com Pundit a um carote e resultados dos ensaios.

3.5. Análise e interpretação dos resultados

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples 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 (Tab. 1 e 2).

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 maiores fracções de partículas de menores dimensões apresentam valores de resistência à compressão e tracção superiores.

Tab. 1 – Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de casas.

Amostra	Módulo de Young (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Deformação para a resistência máxima (mm/mm)	Resistência à tracção (MPa)	
House 1	H_01_02	230.0	1.12	0.006	--
	H_01_03	250.0	1.29	0.009	--
	H_01_04	340.0	1.32	0.004	--
	H_01_05	--	--	--	0.14
	H_01_06	--	--	--	0.19
	H_01_07	--	--	--	0.06
	Média	273.3	1.24	0.007	0.13
House 2	H_02_01	280.0	1.25	0.007	--
	H_02_02	170.0	0.94	0.008	--
	H_02_03	160.0	0.81	0.006	--
	H_02_04	--	--	--	0.20
	H_02_05	--	--	--	0.19
	H_02_06	--	--	--	0.16
Média	203.3	1.00	0.007	0.19	
House 3	H_03_01	95.0	0.74	0.017	--
	H_03_02	100.0	0.91	0.013	--
	H_03_03	95.0	0.61	0.012	--
	H_03_04	--	--	--	0.18
	H_03_05	--	--	--	0.24
	H_03_06	--	--	--	0.16
Média	96.7	0.75	0.014	0.19	
House 4	H_04_01	55.0	0.59	0.028	--
	H_04_02	55.0	0.95	0.055	--
	H_04_03	50.0	0.63	0.043	--
	Média	53.3	0.72	0.042	--
House 5	H_05_01	630.0	3.07	0.011	--
	H_05_02	640.0	2.96	0.015	--
	H_05_03	450.0	3.00	0.019	--
	H_05_04	650.0	2.86	0.012	--
	H_05_05	315.0	1.53	0.015	--
	H_05_06	315.0	1.31	0.011	--
	H_05_07	380.0	1.36	0.012	--
	H_05_08	200.0	1.13	0.021	--
Média	447.5	2.15	0.015	--	
House 9	H_09_01	135.0	0.74	0.006	--
	H_09_02	70.0	0.45	0.015	--
	H_09_03	65.0	0.58	0.013	--
	H_09_04	100.0	0.91	0.015	--
	H_09_05	95.0	0.98	0.017	--
Média	93.0	0.73	0.013	--	
House 10	H_10_01	375.0	2.20	0.008	--
	H_10_02	590.0	3.01	0.007	--
	H_10_03	210.0	1.61	0.009	--
	H_10_04	350.0	1.89	0.008	--
	H_10_05	220.0	1.46	0.011	--
	H_10_06	270.0	1.74	0.009	--
Média	335.8	1.99	0.009	--	
House 11	H_11_01	160.0	1.24	0.011	--
	H_11_02	105.0	0.81	0.010	--
	H_11_03	145.0	0.99	0.008	--
	H_11_04	155.0	1.08	0.012	--
	H_11_05	100.0	0.74	0.016	--
	H_11_06	150.0	1.06	0.013	--
	H_11_07	125.0	0.80	0.011	--
	H_11_08	170.0	1.32	0.008	--
	H_11_09	130.0	1.35	0.012	--
	H_11_10	210.0	1.41	0.008	--
	H_11_11	170.0	1.29	0.009	--
Média	147.3	1.10	0.011	--	

Tab. 2 – Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de muros.

Amostra	Módulo de Young (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Deformação para a resistência máxima (mm/mm)	Resistência à tração (MPa)	
Wall 1	W_01_02	110.0	0.90	0.009	--
	W_01_03	185.0	1.21	0.008	--
	W_01_04	120.0	0.74	--	--
	W_01_05	--	--	--	--
	Média	138.3	0.95	0.008	--
Wall 2	W_02_01	85.0	0.54	0.010	--
	W_02_02	97.0	1.07	0.011	--
	W_02_03	170.0	0.86	0.006	--
	W_02_04	--	--	--	0.06
	W_02_05	--	--	--	0.23
	W_02_06	--	--	--	0.10
Média	117.3	0.83	0.009	0.13	
Wall 4	W_04_01	120.0	0.75	0.006	--
	W_04_02	250.0	1.12	0.005	--
	W_04_03	230.0	1.09	0.005	--
	W_04_04	--	--	--	0.09
	W_04_05	--	--	--	0.12
	W_04_06	--	--	--	0.14
Média	200.0	0.99	0.006	0.12	
Wall 5	W_05_01	340.0	2.02	0.011	--
	W_05_02	320.0	1.44	0.005	--
	W_05_03	360.0	1.71	0.007	--
	W_05_04	--	--	--	0.40
	W_05_05	--	--	--	0.28
	W_05_06	--	--	--	0.53
Média	340.0	1.72	0.008	0.40	
Wall 6	W_06_01	230.0	1.36	0.015	--
	W_06_02	200.0	1.34	0.014	--
	W_06_03	210.0	1.24	0.012	--
	W_06_04	320.0	1.56	0.016	--
	W_06_05	100.0	0.87	0.031	--
	Média	212.0	1.27	0.018	--
Wall 7	W_07_01	130.0	0.82	0.009	--
	W_07_02	110.0	0.76	0.009	--
	W_07_03	90.0	0.99	0.012	--
	W_07_04	90.0	0.40	0.011	--
	W_07_05	120.0	0.76	0.010	--
	W_07_06	95.0	0.58	0.009	--
	W_07_07	165.0	1.09	0.010	--
	W_07_08	110.0	0.94	0.013	--
	W_07_09	70.0	0.76	0.013	--
	W_07_10	65.0	0.95	0.020	--
Média	104.5	0.81	0.012	--	
Wall 9	W_09_01	300.0	1.80	0.011	--
	W_09_02	175.0	2.06	0.018	--
	W_09_03	100.0	0.70	0.020	--
	W_09_04	100.0	0.96	0.013	--
	W_09_05	100.0	0.68	0.035	--
	W_09_06	115.0	1.04	0.012	--
	W_09_07	95.0	0.76	0.015	--
	W_09_08	60.0	0.78	0.027	--
	W_09_09	100.0	0.88	0.019	--
Média	127.2	1.07	0.019	--	

4. Ensaio sobre paredes de alvenaria em adobe

Para caracterizar o comportamento mecânico (rigidez, capacidade resistente, capacidade de dissipação de energia, mecanismo de colapso) das paredes de alvenaria de adobe existentes nas construções desta região face a solicitações cíclicas, como as induzidas por sismos, foram realizados ensaios sobre uma parede.

Com unidades recolhidas em construções existentes na região de Aveiro e com uma argamassa produzida com composição análoga à usada tradicionalmente nessas edificações em 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 que foi realizada com recurso a uma lajeta de betão fixa através de varões roscados à laje de reacção do Laboratório.

Na construção da parede usaram-se os adobes da casa H_11, cujos valores médios da resistência à compressão e do módulo de elasticidade, determinado nos ensaios mecânicos, assumem o valor de 1.10MPa e 147.3MPa, respectivamente (Tab. 1). Para as juntas 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 não destrutivos, foram medidas as frequências próprias da parede, que permitem fazer a sua caracterização dinâmica e a calibração de modelos numéricos. Numa segunda fase, foi efectuado um ensaio destrutivo com imposição de forças horizontais cíclicas. Na Fig. 3 representa-se um esquema geral da parede e do dispositivo de ensaio.

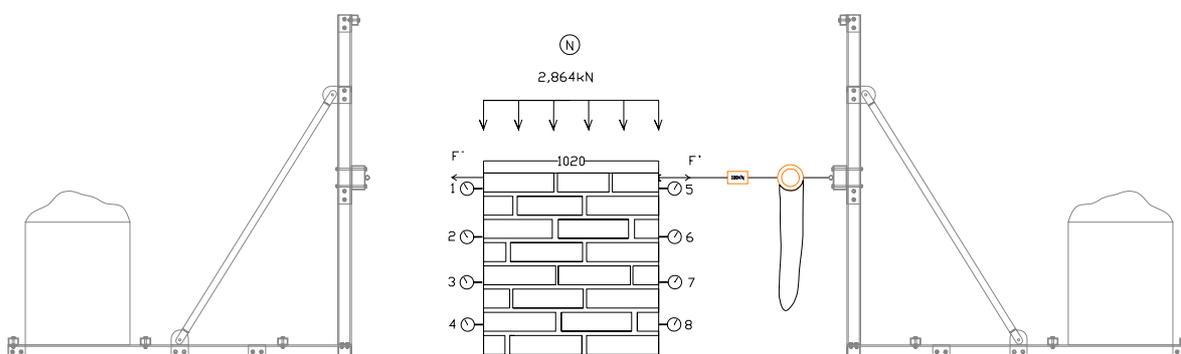


Fig. 3 – Esquema de ensaio da parede em laboratório: pórticos de reacção, transdutores de deslocamento, dinamómetro e sistema de aplicação de forças horizontais na parede (Garibaldi).

4.1. Ensaio cíclicos

Executaram-se ensaios cíclicos semi-destrutivos sobre uma parede construída em laboratório, nesta impuseram-se forças no plano de forma controlada e mediram-se os deslocamentos.

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. A força horizontal máxima aplicada na parede foi de 3.2kN (Fig. 4).

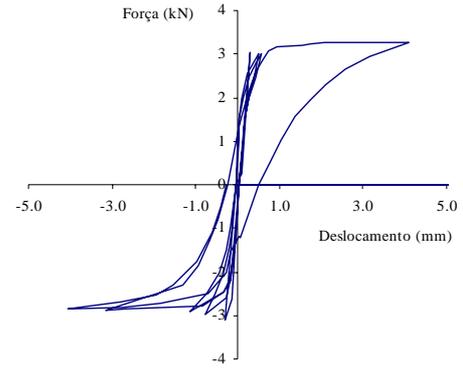


Fig. 4 – Parede, pórticos de reacção e gráfico força vs. deslocamento.

O modo de rotura verificado na parede foi o característico 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. 4.

4.2. Ensaios dinâmicos

Foi feita a leitura, através de um sismógrafo, das frequências próprias nas duas direcções horizontais (transversal e longitudinal). Como excitação aplicou-se um impulso dinâmico sobre a parede. Das acelerações registadas no sismógrafo derivaram-se as frequências próprias. Das leituras efectuadas com o sismógrafo estimou-se uma frequência de 10.94Hz na direcção transversal da parede.

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

$$\omega = (1,875)^2 \sqrt{\frac{EI}{ml^4}}$$

onde ω representa a frequência da parede (em rad/s; funcionamento em consola); E o módulo de elasticidade médio da parede; 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 316.0MPa.

5. Trabalhos em desenvolvimento

No Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro está a ser desenvolvido um projecto para a caracterização estrutural da construção em adobe na região. Serão 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.

5.1. Caracterização das construções

Para cada construção estudada realiza-se uma ficha de caracterização, onde são incluídos sempre que possível:

- Levantamento da geometria da construção;
- Interpretação do funcionamento do sistema estrutural;
- Caracterização visual do adobe, registo das dimensões dos adobes, espessuras das juntas e camadas de reboco;
- Identificação e registo detalhado das patologias;
- Descrição de eventuais alterações estruturais ou reparações.

Em regra, uma inspecção visual pode fornecer informações preciosas sobre o estado de conservação e sobre as medidas a adoptar na reabilitação das construções existentes. O conhecimento do historial do edifício desde o início da sua utilização é também de grande importância pois a alteração das funções previstas inicialmente poderá provocar patologias e danos graves para a estrutura.

São 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. Nesta ficha são incluídos os resultados dos ensaios realizados.

5.2. Ensaio *in-situ* de paredes de alvenaria de adobe

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. Estes ensaios visam estimar a rigidez e a capacidade resistente das paredes, bem como caracterizar o seu comportamento face a solicitações cíclicas, como as induzidas por acções sísmicas.

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 outros pontos singulares.

A metodologia e o esquema de ensaios *in situ* seguida é em tudo semelhante aos ensaios realizados em laboratório e descritos na Secção 4. Serão também realizadas medições *in situ* de frequências próprias dos elementos estruturais em estudo, com recurso a um sísmógrafo.

5.3. Modelação do comportamento estrutural das construções de adobe

O estudo de estruturas de alvenaria de adobe, e particularmente nas construções históricas, apresenta inúmeras dificuldades, nomeadamente: a falta de informação sobre as propriedades e comportamento dos materiais, o desconhecimento do processo construtivo adoptado e a localização de danos. Por outro lado, a complexidade geométrica e estrutural, bem como a dimensão apreciável deste tipo de edifícios, tende a limitar o tipo de análise a realizar. O conhecimento do comportamento estrutural destas construções poderá auxiliar na definição de estratégias de consolidação e reabilitação, ou até de melhoria da sua capacidade resistente.

Na modelação das construções são utilizados modelos com base no método dos elementos finitos, com recurso a elementos de casca rectangulares, adoptando um comportamento elástico-linear e isotrópico (Fig. 5). Das análises numéricas derivam a obtenção das frequências próprias e as correspondentes configurações modais associadas ao modelo em análise. Obtém-se resultados em termos de campos de deslocamentos e tensões, para cada caso de carga ou combinação de acções em causa, que permitem compreender e interpretar o comportamento da estrutura.

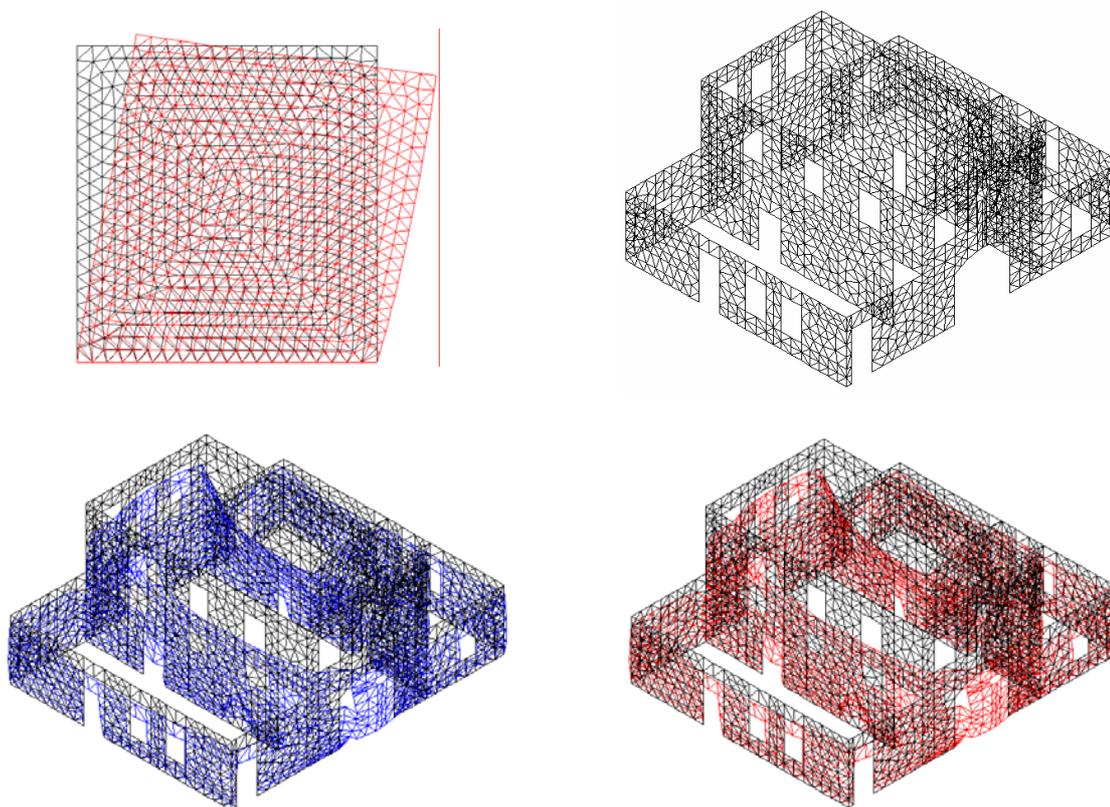


Fig. 5 – Modelo numérico de uma parede isolada e de uma casa existente em adobe.

6. Considerações finais

Pretende-se com este conjunto de procedimentos, ensaios e análises numéricas descrever as características e o comportamento do parque edificado em adobe na região de Aveiro, nomeadamente no que respeita às soluções construtivas, patologias típicas, resistência mecânica, comportamento face acções sísmicas, e estudo de eventuais soluções de reforço. Esta motivação 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.

Os resultados obtidos pelos ensaios podem ser usados na modelação destas construções, com recurso a ferramentas numéricas baseadas no método dos elementos finitos, com vista a uma melhor descrição do seu comportamento estrutural, a uma rigorosa avaliação da segurança sísmica e a um dimensionamento de eventuais soluções de consolidação e reforço.

Agradecimentos

Câmara Municipal de Aveiro, Eng. Tiago Martins, Eng. Hugo Rodrigues, Eng. Romeu Vicente, e todos os habitantes e proprietários que amavelmente e pacientemente nos abriram as portas das suas casas.

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.º 257. 2000. pp. 33-45.
- [5] DETHIER, J. *Arquitecturas de Terra ou o Futuro de uma Tradição Milenar*. Fundação Calouste Gulbenkian. Dinalivro. Portugal. 2002.
- [6] PUCP/CIID. *Nuevas Casas Resistentes de Adobe*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID). Perú.
- [7] COSTA A; ARÊDE A. *A Conservação e a Reabilitação do Património Edificado*. 1^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes. Portugal.
- [8] 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.
- [9] APPLETON, J. *Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e Tecnologias de Intervenção*. Edições Orion. Portugal, 2003.
- [10] 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.
- [11] CLOUGH RW; PENZIEN J. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill, U.S.A., 1975.
- [12] PINHO, F.F.S. *Modelação do reforço estrutural de um monumento*. Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Portugal, 2000.
- [13] Millard, A. *CASTEM-2000: Guide d'utilisation*. Rapport CEA 93/007. France. 1993.