Caracterização mecânica e patológica das construções em Adobe no distrito de Aveiro como suporte em intervenções de reabilitação

Humberto Varum, Aníbal Costa, Ana Velosa, Tiago Martins, 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

Palavras-chave: Construções de adobe, Conservação, Ensaios, Caracterização mecânica

RESUMO

Em Portugal e principalmente na zona de Aveiro a construção em adobe foi uma técnica muito utilizada, passando de geração em geração, até meados do século XX, aquando do desenvolvimento de outros materiais de construção mais industrializáveis. Em Aveiro o adobe pode ser encontrado nas mais variadas construções desde edifícios rurais, geralmente de pequenas dimensões, a edifícios urbanos de maior porte, passando por muros, poços de água, igrejas e armazéns. Inúmeros edifícios de elevado valor patrimonial foram construídos em adobe, por exemplo alguns edifícios de Arte Nova.

A reabilitação ou reforço destas construções, algumas delas com reconhecido interesse histórico, patrimonial e arquitectónico, tem vindo a ser negligenciada. Desta falta de sensibilidade para a preservação, resultou o estado actual de dano estrutural pronunciado e, em muitos casos, o limiar da ruína, no qual se encontram a maioria das construções existentes e que deixa antever, a breve prazo, a entrada em colapso de muitas destas. Neste contexto, torna-se urgente, e absolutamente necessário, investir na reabilitação e reforço deste importante legado.

Para colmatar a falta de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas do adobe, a Universidade de Aveiro tem vindo a desenvolver estudos e ensaios de caracterização deste tipo de construção, nomeadamente a realização de levantamentos dimensionais, estudo da composição dos diferentes adobes da região e do seu comportamento mecânico. Foram iniciados trabalhos de caracterização mecânica “in-situ” do comportamento de paredes de alvenaria de adobe na sequência dos ensaios já realizados em laboratório.

Ao nível patológico é de grande interesse sistematizar o levantamento das patologias mais frequentes e suas possíveis causas, para posteriormente se poder encontrar as soluções de tratamento e correcção mais adequadas. A deterioração deste tipo de construção deve-se sobretudo à acção da água fortemente potenciada pela falta de manutenção dos elementos de protecção (elementos de drenagem, revestimentos de coberturas e de paredes).

Pretende-se com esta apresentação expor o trabalho técnico, desenvolvido e em desenvolvimento, na Universidade de Aveiro como suporte a intervenções de reabilitação e reforço em construções existentes de adobe, e até mesmo para novas edificações.

1. Introdução

É por demais 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 sistematização das patologias mais frequentes em construções de adobe e suas possíveis causas, e potenciais soluções de tratamento e correcção, a caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas na construção da região de Aveiro são instrumentos fundamentais no apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente.

2. Enquadramento histórico

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.

A construção em alvenaria resistente de 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 em alvenaria de adobe na região. Do mesmo modo, pese embora o estado de degradação patenteado, são 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 lhe sejam conhecidas outras utilizações como sejam a construção de muros de suporte de terras ou até mesmo de poços de água. 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 0.45×0.30×0.15m quando utilizados em casas e de 0.45×0.20×0.15m quando utilizados na construção de muros.

3. Construções em adobe no distrito de Aveiro

Ao contrário do que se pode pensar, a construção em adobe não era só utilizada em construções pequenas e modestas, como por exemplo casas rurais, arrecadações, armazéns, muros de propriedades ou poços de água (Figura 1). Foi também utilizada 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.

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

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 (Figura 2).

a) Casa rural [2] b) Casa em meio urbano

Fig. 2 – Casas em adobe

Na execução de alvenaria de adobe, recorreu-se frequentemente à utilização de contrafortes maciços posicionados perpendicularmente à parede (Figura 3), realizados geralmente em adobe. Sendo muito utilizados em muros.

Fig. 3 – Muro com contrafortes.

Geralmente 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 (Figura 4). No caso dos poços de água (Figura 5), 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.

Fig. 4 – Adobe assente sobre alicerces em pedra.

Fig. 5 – Adobe em paredes de poços de água.

Na execução das construções de adobe encontram-se frequentemente soluções simples e engenhosas (Figura 6), utilizadas para melhorar a limitada resistência do material, procurando vencer os vãos das aberturas, melhorando a distribuição das cargas nos elementos estruturais (Figura 7). Sendo disto exemplo a utilização de barrotes de madeira, arcos mais ou menos elaborados realizados com os mais diversos materiais (pedra, madeira, tijolo e até em adobe).

Fig. 6 – Utilização de barrotes de madeira e de um arco rudimentar realizado com dois blocos de adobe para melhorar a distribuição das cargas nas paredes adjacentes às aberturas.

Fig. 7 – Utilização de diferentes materiais para melhorar a distribuição das cargas nas aberturas (pedra, madeira, tijolo, adobe).

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) (Figura 8), ou em adobe melhorado com inclusão de palha para melhorar as suas propriedades mecânicas (Figura 9 e 10). 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 (Figura 11).

Fig. 8 – Adobe extremamente fraco realizado em terra preta (rica em matéria orgânica).

Fig. 9 – Adobe reforçado com palha para melhorar as suas propriedades mecânicas.

Fig. 10 – Adobe feito com restos de outras construções.

Fig. 11 – Parede de pedra e adobe.

4. Edifícios de interesse histórico, cultural e social

Em Aveiro inúmeros edifícios existentes, alguns de interesse histórico e cultural, foram construídos com paredes resistentes em adobe, nomeadamente igrejas, antigas fábricas, armazéns e casas de elevado valor arquitectónico. Neste último grupo incluem-se construções em estilo Arte Nova cuja influência marcou fortemente a cidade de Aveiro.

Este movimento artístico surge por volta de 1880 e afirma-se principalmente pelo seu carácter ornamental. A Arte Nova caracteriza-se por uma decoração de linhas curvas, por emblemas específicos cuja fonte de inspiração se acentue na natureza, reflectindo-se nos azulejos de fachada e interiores, nos gradeamentos de ferro forjado, nas molduras de portas e janelas. Um dos mais belos exemplares é a Casa Major Pessoa (Figura 12), um projecto de Ernesto Korrodi em parceria com Silva Rocha.

Fig 12 - Casa Major Pessoa com estrutura de paredes resistentes em adobe e fachadas em pedra.

Como exemplos de edifícios de cariz sócio-cultural podem referir-se o antigo edifício dos Bombeiros Voluntários de Aveiro datado de 1916, a Igreja de Quintãs, a antiga Fábrica das Moagens, recentemente reconvertida na Fábrica da Ciência, entre muitos outros (Figura 13).

Fig. 13 - edifícios de cariz sócio-cultural e habitacional

5. Patologias frequentes em construções de adobe

A sistematização das patologias mais frequentes e suas possíveis causas em construções de adobe poderá auxiliar em projectos de reabilitação, para posteriormente se poder encontrar as soluções de tratamento e correcção mais adequadas.

Patologias mais frequentes(Figuras 14 a 25)*:*

- Fissuração da alvenaria de adobe e dos seus revestimentos;
- Esmagamento localizado;
- Fissuras nos vãos das aberturas;
- Deformação excessiva;
- Empolamento e destacamento dos revestimentos;
- Fissuração na junção de paredes, por exemplo na ligação dos cunhais;
- Presença de manchas e humidades;
- Ocorrência de eflorescências;
- Degradação do próprio adobe;
- Degradação dos revestimentos.

Fig. 14 – Fissuração em muros de adobe.

Fig. 15 – Fissuração em paredes de adobe.

Fig. 16 – Separação entre elementos.

Fig. 17 – Degradação do revestimento e do próprio adobe.

Fig. 18 – Degradação provocada pelas acções climatéricas.

Fig. 19 – Destacamento do revestimento.

Fig. 20 – Ocorrência de eflorescências.

Fig. 21 – Fissuras nos vãos das aberturas.

Fig. 22 – Degradação provocada por fungos e líquenes.

Fig. 23 – Assentamento de fundações.

Fig. 25 – Esmagamento localizado (apoio de viga cumeeira neste exemplo).

Fig. 24 – Revestimento com espessura elevada (≈ 7 cm neste exemplo).

Nas construções de adobe as principais patologias prendem-se sobretudo com a presença de água e com um deficiente comportamento das fundações tendo estas uma acção directa ou indirecta em quase todas as outras causas.

Causas mais frequentes para as patologias:

- Presença de água;
- Ocorrência de assentamentos;
- Movimentos das fundações;
- Travamentos deficientes das paredes;
- Existência de cargas concentradas;
- Deformação excessiva dos elementos estruturais;
- Esforços elevados transmitidos por elementos externos;
- Solicitações induzidas por sismos;
- Comportamento distintos de materiais diferentes;
- Utilização de revestimentos muito espessos e desadequados;
- Envelhecimento e degradação dos materiais;
- Ventilação insuficiente (no interior dos edifícios);
- Deficiente funcionamento das coberturas;
- Erros/deficiências construtivas;
- Acção da temperatura.

Nos trabalhos de reabilitação interessa adoptar procedimentos que assegurem resultados satisfatórios a longo prazo. Daí decorre a necessidade se ter que prestar atenção às soluções a adoptar e possíveis implicações futuras. De uma forma geral, para solucionarmos as patologias, devemos se possível eliminar as causas que as provocaram e proceder à substituição e reparação dos elementos/materiais afectados. Deve-se se necessário proteger e reforçar os elementos estruturais e não estruturais assim como os terrenos das fundações. Por vezes em patologias não estruturais de difícil resolução ou economicamente inviáveis no seu solucionamento, podemos pura e simplesmente oculta-las.

De salientar a importância do revestimento na protecção do adobe em paredes exteriores, geralmente quando este deixa de exercer a sua função o adobe sofre, de uma forma rápida e acentuada os efeitos da erosão, devemos portanto utilizar revestimentos que apresentem uma boa durabilidade e compatibilidade com este tipo de alvenaria.

Exemplos de soluções de reabilitação e reforço(Figuras 26 a 28)*:*

Fig. 26 – Grampeamento de fissuras.

Fig. 27 – Construções reforçadas com tirantes.

Fig. 28 – Uso de cintas e reforços de cunhal em betão armado.

6. Ensaios de caracterização mecânica e granulométrica

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 dos diferentes adobes da região e do seu comportamento mecânico.

6.1. Selecção de amostras

A grande variabilidade de adobes existentes na região tornam-no num material com uma enorme heterogeneidade das suas propriedades mecânicas. Esta dificuldade foi tida em consideração na selecção de um conjunto de amostras representativas das várias tipologias de adobe usadas na região de Aveiro. Para tal, as amostras de muros e casas seleccionadas, mais concretamente provenientes de três casas e cinco muros foram recolhidas em distintos locais de forma a caracterizar o mais largamente possível a variedade de adobes existentes na região.

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: C_i e M_i, onde i representa o número da obra, sendo que a

esta é adicionado um índice j, representando o número da amostra, sempre que é feita referência específica a um provete em concreto.
As amostras recolhidas eram constituídas, sempre que possível, por blocos inteiros de adobe, e quando possível foram recolhidas amostras de argamassa de junta e de reboco.

Com excepção dos blocos provenientes do muro M_03, foi possível extrair, para todas as outras amostras, carotes cilíndricos com diâmetro aproximado de 90mm (Figura 30). 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 e normalizadas as suas dimensões com o objectivo de serem ensaiados em condições similares e de acordo com as normas dos ensaios de compressão.

De realçar, que a aparência dos provetes obtidos é, desde logo, notoriamente heterogénea, o que se virá a reflectir nos valores de resistência obtidos, assim como, na composição granulométrica, o que se comprova na apresentação dos resultados obtidos.

Fig. 29 - Carotes de adobe para posterior ensaio.[8]

6.2. Caracterização granulométrica

Uma vez que os blocos de adobe eram feitos fundamentalmente com solos arenosos de natureza bastante argilosa, uma caracterização básica da sua composição foi efectuada pela análise granulométrica por peneiração seca dos constituintes das amostras (Figura 31).

Do traçado das curvas granulométricas, de amostras de quatro das construções em estudo, ressaltam dois factos relevantes:

- Somente os agregados que compõem os adobes provenientes da casa C_01 foram classificados como areia média. Quanto aos restantes adobes caracterizados, designadamente, os muros M_01, M_02 e M_03, foram classificadas como areias grossas.
- Relativamente ao muro M_03, a elevada fracção de agregados de dimensões superiores a 2.5mm, inviabilizou que a extracção de carotes regulares destes adobes pudesse ser feita, uma vez que o dano e irregularidade destas carotes aquando da sua extracção era considerável impossibilitando assim que estas amostras pudessem ser ensaiadas e caracterizadas.

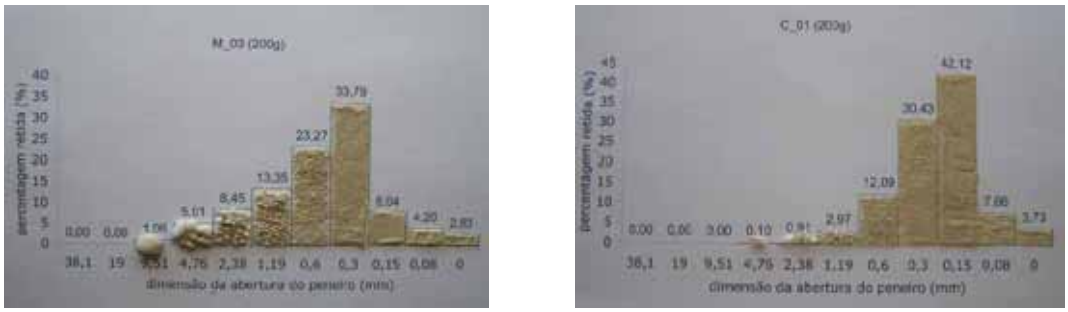


Fig. 30 – Gráficos das análises granulométricas da casa (M_03) e do muro (C_01) [8]

6.3. Ensaios mecânicos

Um total de 40 provetes cilíndricos foi submetido a ensaios destrutivos de resistência mecânica, dos quais, 18 eram provenientes de amostras de casas e 22 de muros.

As amostras divididas em dois grupos de ensaios distintos foram, com recurso a uma prensa mecânica, ensaiadas à compressão simples (Fig.32-a), e à compressão diametral (Fig.32-b) como ilustrado nas fotos.

Adiante, são apresentadas as curvas de comportamento obtidas nos ensaios que possibilitam a análise da deformação dos provetes em função da tensão aplicada. Para a casa C_01 foi adicionalmente desenvolvido um ensaio de resistência à compressão simples da sua argamassa de reboco. Neste caso, o ensaio foi diferente dos anteriores uma vez que, dadas as reduzidas dimensões da argamassa de reboco foram utilizadas duas chapas de aço, graduadas com 4 centímetros de lado, colocadas uma de cada lado da amostra da argamassa nas quais foi aplicado o esforço transmitido pelos pratos da prensa.

a) compressão simples

b) compressão diametral

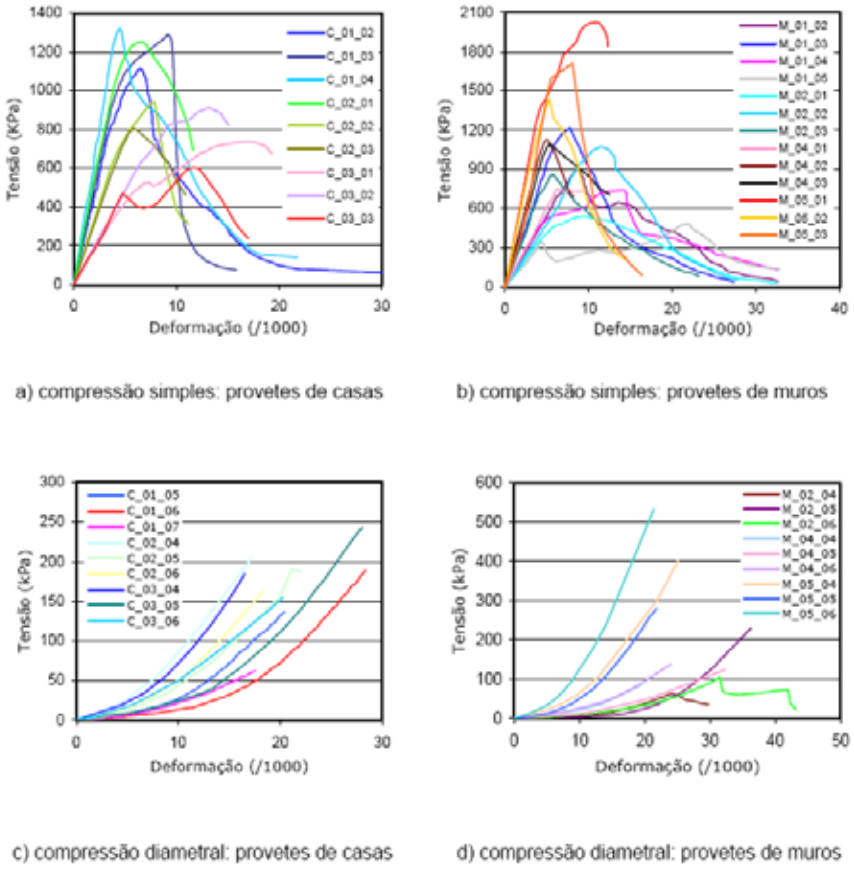
Fig. 31 – Ensaios mecânicos dos provetes. Fotos dos autores.

6.4. Análise e interpretação dos resultados

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples mostram valores significativos da resistência à compressão das amostras ensaiadas (0.5-2.0MPa)

(Figura 32), sendo que para a resistência à tracção, igualmente expressivos, os resultados obtidos correspondem a valores de aproximadamente 20% da resistência à compressão respectiva.

Do ponto de vista da distribuição granulométrica dos agregados constituintes das amostras ensaiadas, a análise granulométrica revela uma clara tendência para que a amostras com maiores fracções de partículas de menores dimensões correspondam valores de resistência à compressão e tracção superiores.



a) compressão simples: provetes de casas

b) compressão simples: provetes de muros

c) compressão diametral: provetes de casas

d) compressão diametral: provetes de muros

Fig. 32 - Curvas de comportamento dos provetes ensaiados: tensão vs. deformação.

7. Trabalhos em desenvolvimento

Na Universidade de Aveiro está a ser desenvolvido um projecto para a caracterização 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 patologias, são realizados ensaios de caracterização dos materiais, e desenvolvidos modelos numéricos que representam o comportamento estrutural, e permitem verificar a segurança e/ou dimensionar o seu reforço.

7.1. Levantamento

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 das suas funções 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.

7.2. Argamassas de revestimento e de junta na reabilitação de alvenaria de adobe

As argamassas, tanto de revestimento, como de junta desempenham papéis de assinalável importância no contexto da durabilidade de sistemas de alvenaria. Argamassas de junta funcionam como factor de agregação enquanto que argamassas de revestimento são utilizadas como camada sacrificial, protegendo os suportes. O funcionamento do sistema suporte/argamassa depende fundamentalmente da compatibilidade atingida entre os materiais que o compõe.

No contexto de alvenarias de adobe, as argamassas de junta necessitam de preencher requisitos básicos de semelhança mecânica, física e química com os blocos de adobe. É fundamental que argamassas e blocos detenham Módulos de Elasticidade e resistências mecânicas similares, assim como variações dimensionais devido à variação térmica dentro da mesma ordem de valores e analogamente, semelhantes características de absorção de água. Apenas com esta garantia é possível prever o adequado funcionamento da parede, eliminando heterogeneidades potencialmente criadoras de focos de degradação.

Para além da compatibilidade mecânica, as argamassas de reboco necessitam de ter baixos valores de absorção de água capilar e elevada capacidade de secagem, assim como elevada permeabilidade ao vapor e baixa permeabilidade à água líquida, dado o material constituinte do adobe se encontrar dotado de elevada porosidade e absorção capilar [3, 4]. O factor base para esta exigência prende-se com a possibilidade de argilização dos blocos de adobe devido à acção da água.

Todas as argamassas empregues neste tipo de parede necessitam de cumprir adicionalmente requisitos de compatibilidade química, não introduzindo no sistema de parede compostos que possam promover a sua deterioração, como é o caso de sais solúveis. A similitude cromática é outro factor a considerar na escolha de argamassas de reparação.

Neste contexto, o estudo tanto de amostras de adobe como de amostras de argamassas de junta e reboco é o primeiro passo para o conhecimento deste sistema e para a formulação de argamassas de reabilitação. Como ferramentas a utilizar neste estudo, a difracção de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), análises térmicas, dissolução ácida e determinação da granulometria permitem determinar de forma bastante precisa a composição destes materiais. A partir desta base, é possível formular argamassas de substituição/reparação com as características desejadas.

7.3. Ensaios *in-situ* de paredes de alvenaria de adobe

Foram iniciados trabalhos de caracterização mecânica *in-situ* do comportamento de paredes de alvenaria de adobe. Estes ensaios visam estimar a rigidez e a capacidade resistente das paredes, bem como caracterizar o seu comportamento face a solicitações cíclicas, com as induzidas por acções sísmicas.

Em elementos de parede de construções existentes são realizados ensaios com imposição de cargas estáticas verticais (que simulam o peso próprio da alvenaria acima desse elemento e as cargas transmitidas pela cobertura e pavimentos) e são aplicados deslocamento cíclicos horizontais. Estes ensaios cíclicos semi-destrutivos são desenvolvidos para deslocamentos impostos no plano da parede e na direcção perpendicular a este.

Serão realizadas medições de frequências próprias e modos de vibração (Figura 33), que permitam fazer a caracterização dinâmica das estruturas e a calibração de modelos numéricos das estruturas. Serão ainda realizados ensaios não-destrutivos com ultra-sons em paredes de alvenaria (Figura 34).

Fig. 33 – Ensaio com Sismógrafo [7]

Fig. 34 – Equipamento de Ultra-sons

7.4. Modelação do comportamento estrutural das construções de adobe

O estudo de estruturas de alvenaria, em especial de estruturas históricas, apresenta inúmeras dificuldades, nomeadamente, a complexidade e deficiente caracterização do actual comportamento dos materiais e das suas propriedades, ao desconhecimento do processo construtivo adoptado e 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 proporcionar, por um lado, a prevenção do colapso de estruturas quando solicitadas e, por outro, conduzir uma adequada intervenção com vista ao aumento da sua capacidade resistente [11].

Na modelação foram utilizados elementos finitos de casca rectangulares de quatro nós, adoptando o modelo um comportamento elástico-linear e isotrópico. Das análises numéricas derivam a obtenção das frequências próprias (Figura 37) e as posteriores configurações modais associadas ao modelo em análise, obtendo os resultados em termos de campos de deslocamentos e tensões, para cada caso de carga ou combinação de acções, que permitem compreender e interpretar o comportamento da estrutura (Figuras 38 e 39).

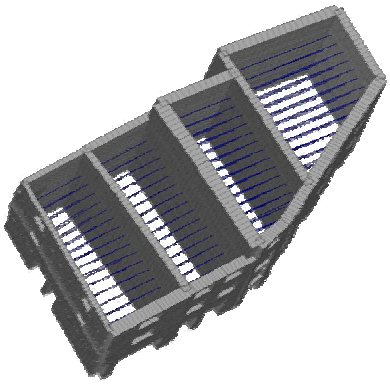


Fig. 35 – Distribuição dos barrotes de apoio do soalho de madeira

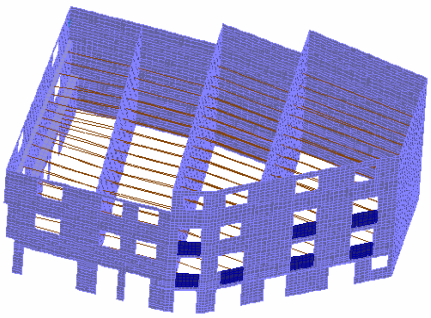


Fig. 36 – Modelo da estrutura (vista geral)

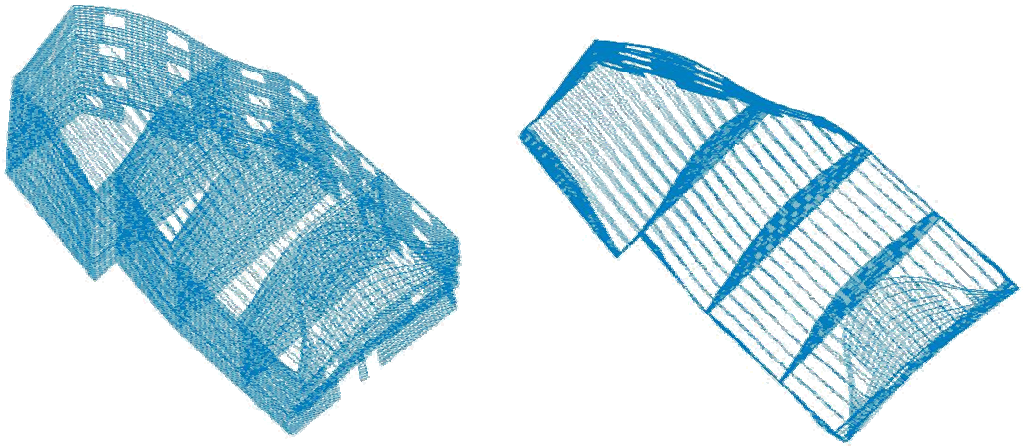


Fig. 37 – Configuração do modo de vibração da 1ª frequência.

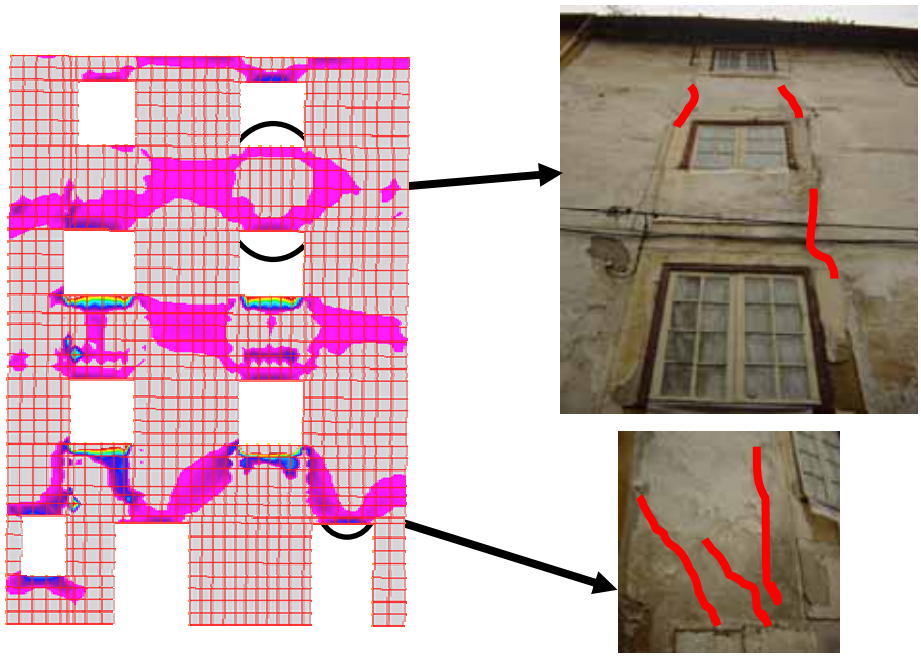


Fig. 38 – Interpretação das causas de danos observados

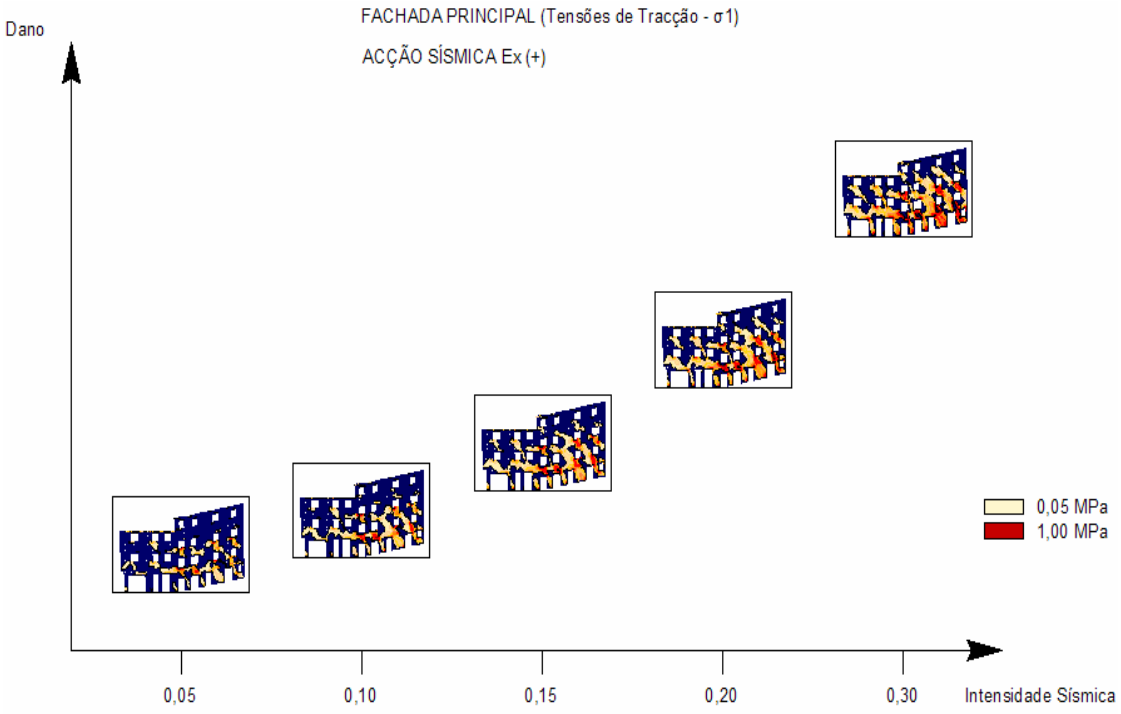


Fig. 39– Evolução dos danos com a intensidade sísmica

8. 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 à resistência mecânica, soluções construtivas, patologias e 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 e conhecimento do seu comportamento.

Os resultados obtidos pelos ensaios são usados na modelação com ferramentas numéricas baseadas no método dos elementos finitos, quer na caracterização quer na calibração dos modelos, com vista a uma melhor descrição do comportamento da construção, a uma rigorosa avaliação da segurança estrutural e dimensionamento de eventuais soluções de reforço.

Agradecimentos

Câmara Municipal de Aveiro
Eng. Ricardo Melo, Eng. Hugo Rodrigues e Eng. Romeu Vicente
Eng. Victor Costa, Eng. Thomas Gomes
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, Lisboa, 1992.
[2] Seminário - *"Arquitecturas de Terra"*, Museu Monográfico de Conímbriga, Ed. CCRCentro, Coimbra, 1992.
[3] Moropoulou, A. et Al, - San Francisco Monastery - *Characterization of Building Materials, Damage assessment and conservation considerations*, Journal of Cultural Heritage, 4, , Quito, Equador , 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, enero/febrero/marzo 2000, pp. 33-45.
[5] Dethier, J., - *"Arquitecturas de Terra ou o Futuro de uma Tradição Milenar*", Fundação Calouste Gulbenkian, Dinalivro, Lisboa. 2002;
[6] PUCP/CIID, - *"Nuevas Casas Resistentes de Adobe*", Pontificia Universidad Católica del Perú, Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (CIID), Lima, Perú.
[7] Costa A; Arede A. - *A Conservação e a Reabilitação do Património Edificado.* 1as Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes.
[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, Amadora, 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.
[11] Pinho, Fernando F. S. - *Modelação do reforço estrutural de um monumento*. Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Lisboa, 2000.