

TEMA 1 – Patologias

LEVANTAMENTO, INSPECÇÃO E ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ANTIGOS, EM PONTA DELGADA, AÇORES

Carlos Mesquita^{1,a}, Pedro Lança^{2,b}

¹Oz Diagnóstico, Levantamento, e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda., Portugal

²Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja, Portugal

^acgmesquita@oz-diagnostico.pt, ^bpedro.lanca@estig.ipbeja.pt

Palavras-chave: Inspeção e Ensaios; Resistografia; Macacos planos; Arrancamento de hélice

Resumo. O estudo dum construção, com a caracterização das propriedades mecânicas dos materiais estruturais e das anomalias existentes, permite avaliar o seu desempenho estrutural e, conseqüentemente, as medidas correctivas a implementar. No caso das construções antigas, atendendo-se às heterogeneidades dos elementos estruturais e às deficiências das ligações, as acções horizontais assumem maior relevância. No decurso do processo de requalificação de dois edifícios de uma escola básica, em Ponta Delgada, Açores, pretendeu-se avaliar a sua segurança estrutural, em particular, à acção sísmica, dada a antiguidade das construções (séculos XVIII e XIX) e a sua localização numa região de elevada sismicidade. Para tal, foi decidido proceder à recolha faseada de informação sobre as características estruturais dos edifícios, tendo sido iniciada com um estudo preliminar. Numa segunda fase foram realizados os levantamentos estrutural e das anomalias visíveis, através de inspeção detalhada com ensaios não destrutivos ou pouco intrusivos, cuja informação obtida serviu de suporte à avaliação da segurança estrutural por parte do gabinete projectista.

Introdução

A acção de reabilitar um edifício tem como principal objectivo incrementar o seu desempenho para níveis superiores aos existentes. Salienta-se, entre outros, o aumento da capacidade resistente a acções exteriores, como a acção sísmica. Um diagnóstico fiável [1] é fundamental para atingir esse objectivo, bem como para salvaguardar intervenções desajustadas que contribuam para uma degradação precoce dos materiais e componentes da construção, com custos elevados para o utente.

Este artigo surge na sequência do processo de requalificação de dois edifícios antigos, utilizados como escola básica, em Ponta Delgada, Açores. Pretendeu-se avaliar a segurança estrutural, em particular, à acção sísmica, dada a antiguidade das construções, a sua localização numa região de elevada sismicidade e a elevada ocupação humana durante um largo período do dia. Conforme acordado com o gabinete projectista, o processo teve início com um estudo preliminar [2] para avaliação do estado de conservação aparente dos edifícios, onde foi recolhida informação através de exame visual sobre as suas características estruturais e sobre as anomalias existentes. Numa segunda fase, foi realizado um estudo mais aprofundado [3] que incluiu o levantamento estrutural e

o levantamento das anomalias visíveis, através de inspecção detalhada com recurso a meios auxiliares de diagnóstico não destrutivos ou pouco intrusivos [1].

Nota histórica/descriptiva dos edifícios

A primeira etapa do estudo, como é habitual, consistiu na pesquisa sobre a historicidade dos imóveis, visando perceber as tecnologias de construção usadas, incluindo as das alterações. O edifício a Poente (edifício A) foi mandado construir no século XVIII por Jordão Jácome Correia e Dona Maria Teresa de Chaves, para Solar residencial. O edifício a Nascente (edifício B) foi fundado pela irmã da Congregação de S. José de Cluny, Catarina O'Conwell, em 1893, e transferido para o solar em 1910. O antigo Solar conheceu vários proprietários, tendo sido adquirido a 19 de Julho de 1936 pela Junta Geral para nele funcionar a Escola Industrial e Comercial Gonçalo Velho, com início no ano lectivo de 1938/39.

Tal como outros edifícios da época apresentam elementos do barroco com curvas e contracurvas dos seus envasamentos, amplos portões e corrimão de pedra com larga escadaria de acesso ao piso superior. A fachada principal é valorizada por pilastras que definem o seu corpo central. A escadaria de acesso ao segundo piso é larga, conduzindo a um patamar, donde partem dois ramos de igual dimensão. Extraordinariamente notórias são as chaminés, símbolos de abundância da cozinha.

A Escola Industrial e Comercial Gonçalo Velho teve de partilhar o edifício com o Quartel do Batalhão de Infantaria Legionária e mais tarde com a secção do Batalhão de Infantaria 18, antes da sua transferência para Arrifes, em 1945, data em que foram feitas grandes modificações no edifício adaptando-o a estabelecimento de ensino. O edifício a Nascente e terrenos adjacentes foram anexados posteriormente, permitindo aumentar os recreios e as salas de aulas. A 15 de Outubro de 1970 tiveram início as aulas sob o nome da actual Escola Preparatória. Mais tarde foi levada a cabo uma grande reparação no telhado do edifício principal com o objectivo de eliminar as infiltrações.

Estudo preliminar

O estudo preliminar, teve como suporte a inspecção visual do interior e do exterior (fachadas) dos edifícios (ver Fig. 1 a Fig. 4), tendo em vista a identificação e a caracterização das anomalias visíveis de forma a proceder à sua tipificação e avaliação da sua importância (disposição na construção).



Figura 1: Alçado principal do edifício A.



Figura 2: Alçado principal do edifício B.



Figura 3: Alçado tardoz do edifício A, onde é visível parte da estrutura de betão armado de ampliação da escola.



Figura 4: Alçado tardoz do edifício B.

Para melhor caracterização da construção e das anomalias existentes foram realizadas, por amostragem, pequenas sondagens pontuais em tectos, pavimentos e paredes, complementadas por ensaios simples *in-situ*, nomeadamente, medição qualitativa da humidade superficial dos materiais de revestimento com humidímetro, medição da abertura de descontinuidades através de comparador de fissuras e observações boroscópicas.

Descrição sumária da estrutura elevada e das fundações dos edifícios

Os dois edifícios são constituídos, na generalidade, por paredes, arcos e colunas (no piso térreo) em alvenaria resistente de pedra irregular da região (basalto) argamassada com ligante argiloso e por pavimentos e cobertura de madeira (ver Fig. 5 e Fig. 6). A secção transversal das paredes resistentes aparenta ser de pano triplo com núcleo central preenchido com material de fraca qualidade.



Figura 5: Exemplo de parede de alvenaria em basalto argamassada com ligante argiloso.



Figura 6: Exemplo de esquema estrutural de pavimento em madeira apoiado sobre arcos e colunas de alvenaria resistente em basalto (piso térreo).

Nos pisos superiores, em particular do edifício A, existem estruturas de betão armado, indiciando alterações da volumetria original do edifício (ver Fig. 7 e Fig.8).



Figura 7: Exemplo de treliça em betão armado de suporte de cobertura.

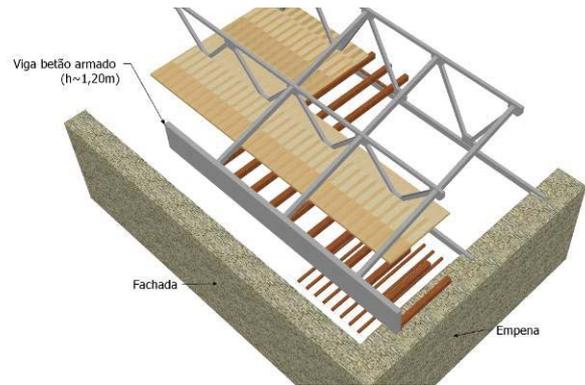


Figura 8: Exemplo do esquema estrutural da cobertura (ver Fig. 7).

As estruturas de madeira dos pavimentos apoiam em paredes de alvenaria resistente ou em elementos de betão armado, no caso das coberturas (ver Fig. 8). Por sua vez, os elementos de betão armado apoiam directamente sobre paredes resistentes. A entrega dos elementos de madeira e de betão armado nas paredes de alvenaria é do tipo simplesmente apoiado.

As paredes de alvenaria dos dois edifícios parecem mobilizar directamente estratos rochosos de basalto (ver Fig. 9). Salienta-se a presença de alguns testemunhos de gesso, colocados pela empresa construtora, antes do início das obras de ampliação.



Figura 9: Exemplo de parede fundada sobre estrato rochoso de basalto.

Anomalias e diagnóstico preliminar

Da inspecção visual realizada aos dois edifícios não se constataram anomalias com relevância estrutural nas paredes exteriores, nomeadamente fendas com expressão e de orientação bem definida. No entanto verificaram-se, pontualmente, lacunas no material de revestimento de paredes e falta de coesão do material de preenchimento das juntas, situação agravada pela acção de precipitação com a consequente diminuição da resistência das paredes (ver Fig.10 e Fig. 11).



Figura 10: Alçado tardoz. Exemplo de desenvolvimento de colonizações biológicas e de vegetação infestante no material de revestimento de paredes e coberturas.



Figura 11: Alçado principal. Exemplo de lacunas no material de revestimento de paredes.

No interior dos edifícios, de acordo com as sondagens realizadas, por amostragem, constataram-se indícios de podridão e de ataques de insectos xilófagos na generalidade das entregas de madeira dos pavimentos, nalguns casos com redução significativa da secção resistente (ver Fig. 12 e 13).



Figura 12: Exemplo de deterioração por podridão numa entrega de viga de madeira do pavimento em parede exterior.



Figura 13: Outro exemplo, onde são visíveis orifícios que indiciavam o ataque de insectos xilófagos.

Verificaram-se, ainda, flechas excessivas em pavimentos e fissuração do material de revestimento de paredes, com orientação bem definida (sub-vertical). Estas anomalias parecem estar associadas a causas várias, nomeadamente, cargas consideráveis em pavimentos e paredes devido ao uso anterior das salas como biblioteca, compressão excessiva da alvenaria devido a cargas pontuais (estrutura de betão armado), eventual desligamento entre paredes ortogonais e a possíveis movimentos estruturais associados a sismos anteriores (ver Fig. 14 e 15). Salienta-se que durante a inspecção não foram detectados testemunhos de gesso fissurados, sendo de admitir a ausência de movimentos significativos durante a fase de escavação da ampliação adjacente.

Alguma fendilhação, sem orientação preferencial, verificada pontualmente no material de revestimento de paramentos parece estar associadas à utilização de argamassas de revestimento de base cimentícia, pouco deformáveis relativamente à estrutura de suporte em alvenaria.



Figura 14: Exemplo de deformação de pavimento. Folga entre o soalho e o rodapé.



Figura 15: Exemplo de fissuração sub-vertical do material de revestimento de parede.

Na generalidade, as anomalias existentes relacionadas com humidade, nomeadamente, indícios de escorrências, eflorescências e o desenvolvimento de colonizações biológicas, ocorrem nos elementos da construção em contacto com o exterior e zonas contíguas, na base de paredes, na entrega de vigamentos e sob coberturas. As medições feitas com humidímetro indiciam que anomalias detectadas na base de algumas paredes poderão estar associadas à ascensão, por capilaridade, da água existente no solo (ver Fig. 16).



Figura 16: Exemplo de eflorescências no material de revestimento da base de parede interior.

Durante a inspecção preliminar não foram detectados elementos de reforço das ligações entre paredes e pavimentos e das ligações entre as paredes periféricas e a cobertura.

Como factor agravante das anomalias referidas destaca-se a falta de manutenção adequada dos edifícios.

Levantamento estrutural e levantamento das anomalias visíveis, através de inspecção detalhada com ensaios não destrutivos ou pouco intrusivos

O levantamento estrutural teve como objectivo caracterizar os elementos estruturais e, por consequência, não estruturais, em termos da sua disposição nos edifícios, da sua geometria (obtida em parte do levantamento arquitectónico) e das propriedades mecânicas dos materiais constituintes dos elementos estruturais. Foram executados, por amostragem, ensaios não destrutivos ou pouco intrusivos, nomeadamente, a utilização do pacómetro para detecção de elementos estruturais em

betão armado e metálicos ocultos nas paredes ou pavimentos (ver Fig. 17 a Fig. 19), ensaios de percussão, observações boroscópicas do interior de pavimentos (ver Fig. 20) e pequenas sondagens em paredes e tectos ou pavimentos (ver Fig. 21 a 23), criteriosamente localizadas. Incluiu-se, ainda, no levantamento estrutural a avaliação das propriedades mecânicas das paredes de alvenaria através de ensaios com macacos planos de pequena área e da resistência das argamassas de assentamento através de ensaios de arrancamento de hélice (referidos adiante).

O levantamento estrutural foi representado sobre desenhos, de forma a evidenciar a disposição dos elementos estruturais (ver fig. 24).



Figura 17: Grelha no tecto que oculta perfis metálicos na direcção paralela à fachada principal.



Figura 18: Pormenor do banzo superior de um perfil metálico do tipo INP 400 (ver Fig. 17).

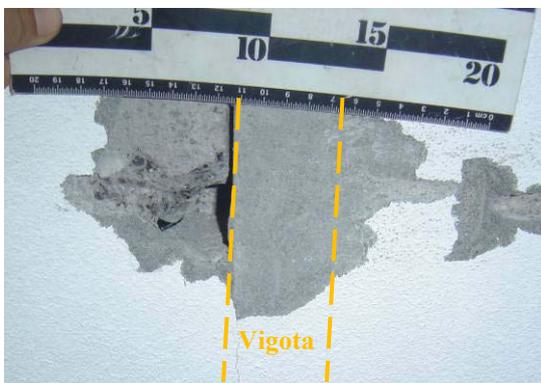


Figura 19: Face inferior de vigota e do bloco de cofragem dum pavimento prefabricado.



Figura 20: Observação boroscópica em pavimento.



Figura 21: Sondagem em paredes de alvenaria,



Figura 22: Sondagem em coluna de

ortogonais, evidenciando algum embricamento.



Figura 23: Sondagem em parede de alvenaria, evidenciando lacunas nas juntas de assentamento.

alvenaria de basalto.

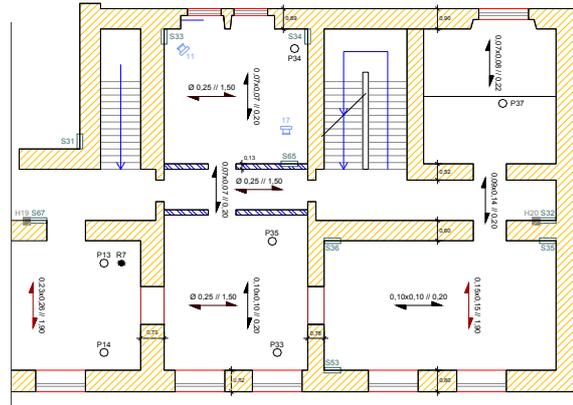


Figura 24: Planta parcial do 1º andar, com representação do levantamento estrutural.

O levantamento de anomalias consistiu na caracterização e identificação das anomalias visíveis, em particular, de índole estrutural e o registo da sua disposição e extensão nos elementos da construção, através de referência sobre desenhos. Das anomalias levantadas, destacam-se as fissuras com orientação bem definida em paredes e pavimentos, cuja disposição e a abertura (medida com um comparador de fissuras) são fundamentais para o diagnóstico das causas que estiveram na sua origem (ver Fig. 25, 26 e 27).



Figura 25: Fissura no material de revestimento de abóbada (abertura de cerca de 0,55 mm)



Figura 26: Exemplo da continuidade de fissura no material de revestimento para a alvenaria resistente.

Foram, também, executadas observações boroscópicas para detecção das partes afectadas dos elementos estruturais de madeira ocultos sob os pavimentos e, conseqüentemente, a avaliação da importância da infestação dos insectos xilófagos e da sua actividade (ver Fig. 28). Nos elementos estruturais de madeira com função estrutural importante (vigas portantes de pavimentos e elementos estruturais das coberturas) foram, ainda, executados ensaios de resistografia a fim de se avaliar a importância dos efeitos da podridão e da infestação dos insectos xilófagos.



Figura 27: Fenda expressiva no material de revestimento de pavimento, adjacente ao tardo.



Figura 28: Exemplo de ataque de insectos xilófagos em entrega de barrote de madeira de cobertura.

Ensaios de resistografia sobre elementos de madeira

A técnica da resistografia [4] (ver Fig. 29) permite detectar zonas das peças de madeira com variações anormais de densidade, como por exemplo, perdas de secção, que passam, muitas vezes, despercebidas, tanto mais que se podem situar apenas, ou preferencialmente, no interior das peças, sem alteração do seu aspecto exterior. O ataque a elementos estruturais de madeira por insectos xilófagos, fungos ou outros agentes dá, frequentemente, origem a reduções da secção útil desses elementos, com a consequente diminuição da sua capacidade resistente.

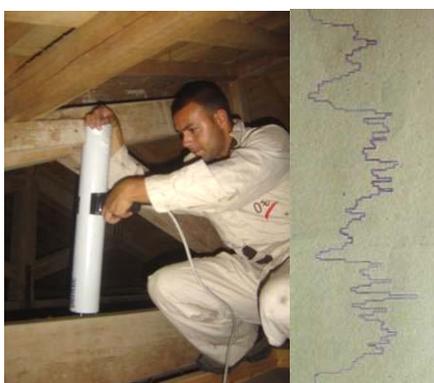


Figura 29: Exemplo de ensaio de resistografia na linha de asna e do perfil densidade obtido.

O ensaio simples e de reduzida intrusão permite a detecção e mapeamento, por amostragem, ou de forma sistemática, as áreas deterioradas em sucessivas secções do elemento estrutural em análise. Após a selecção dos locais de ensaio, procede-se à furação, traçando o aparelho, de forma automática, o perfil de densidade da peça. Foram executados 21 ensaios.

Avaliação da resistência das argamassas de assentamento

Foram realizadas 26 ensaios [5], tendo sido executado, em cada, um furo com 4,5 mm de diâmetro a meio da espessura de argamassa da junta. Posteriormente, foi cravada, em cada furo, a hélice de

fixação utilizando o acessório para o efeito, até penetrar o comprimento de referência (ver Fig. 30). Depois de colocar a peça de arrancamento e o dispositivo de medição, puxa-se a hélice de fixação provocando a rotura por corte da argamassa e regista-se a respectiva força máxima (ver Fig. 31).



Figura 30: Exemplo da cravação da hélice de fixação com acessório para o efeito, até ela ter penetrado o comprimento de referência.



Figura 31: Exemplo do dispositivo de arrancamento com o registo da respectiva força máxima.

Ensaio de caracterização das propriedades mecânicas das paredes resistentes de alvenaria através de macacos planos de pequena área

A técnica do ensaio com macacos planos permite avaliar, com rigor, “in.situ” as características de deformabilidade das alvenarias [6] [7]. A deformação das amostras de alvenaria pode ser estudada, quer na direcção vertical, quer na horizontal, dispondo para tal as bases de medição (ver Fig. 32 e Fig. 33). No caso, foram executados 3 ensaios em paredes de alvenaria.

Em cada local de ensaio são inseridos 2 macacos planos semi-ovais (dimensões 345 x 255 x 4 mm - área nominal de 750 cm²) em rasgos previamente executados na parede, por meio de uma máquina de corte apropriada (ver Fig. 34). Posteriormente, os macacos planos são ligados em paralelo a uma bomba hidráulica de pressão, sendo então aplicada uma tensão uniaxial à amostra de parede localizada entre os macacos planos, permitindo reproduzir as condições do ensaio muito semelhantes à do ensaio convencional em laboratório.

O ensaio é realizado através de vários ciclos de carga/descarga, com um aumento/diminuição gradual dos níveis de pressão, sendo feita, para cada nível, leituras das deformações, com o alongâmetro de milésimos, da amostra em estudo (ver Fig. 35).

O ensaio de deformabilidade é precedido da determinação do estado de tensão. Os patamares máximos de pressão são seleccionados em função das características mecânicas expectáveis da parede.

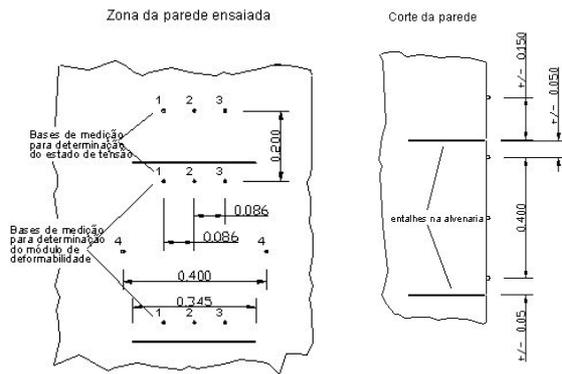


Figura 32: Esquema do ensaio de macacos planos em alçado e corte.

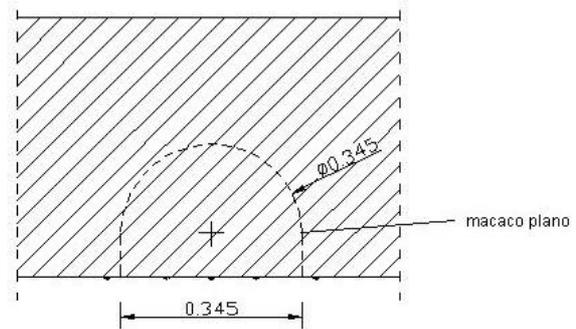


Figura 33: Esquema do ensaio de macacos planos em planta.



Figura 34: Abertura de rasgo em parede de alvenaria para colocação de macaco plano.



Figura 35: Leitura das deformações com o alongômetro de milésimos.

Estado de tensão da alvenaria

Para determinação do estado de tensão é feita uma leitura inicial (cada conjunto de medições é precedido da medição do “invar” para acerto das leituras) que precede o corte da alvenaria com profundidade igual à flecha do macaco plano. Com a introdução do macaco plano é feita a ligação da mangueira de alta pressão da almofada (macaco plano) à bomba hidráulica, sendo feita a leitura após o corte, para medição da variação da distância entre as bases. Posteriormente é accionada a bomba hidráulica de pressão por níveis crescentes de carga, com realização das respectivas leituras, até se atingir a leitura inicial, registando-se então o valor da pressão indicado no manómetro. O valor da tensão na parede é obtido através da Eq. 1.

$$\sigma = k_m \times k_a \times p. \quad (1)$$

Na Eq.1 o coeficiente de correcção - K_m - tem em conta as características geométricas do macaco e a rigidez do cordão de soldadura, constante do certificado de calibração do macaco. O coeficiente de correcção - K_a - é obtido através da razão entre a área do macaco (A_m) e a do corte (A_c): O valor da pressão - p - lida no manómetro, corresponde ao valor que repõe as condições iniciais da alvenaria.

Módulo de deformabilidade e resistência da alvenaria

A realização do ensaio para determinação do módulo de deformabilidade e resistência da alvenaria envolve a colocação das restantes bases metálicas, a execução dum 2º corte e a introdução doutro macaco plano. Após uma leitura inicial é accionada a bomba hidráulica para níveis crescentes de carga com realização de leituras até ao 1º nível máximo de carga (em fase elástica). A descarga é feita também por níveis de carga (os mesmos da carga), até ao 1º nível, com repetição do 1º ciclo. O ensaio prossegue com novos ciclos para níveis máximos crescentes até se começar a detectar cedência do material (aumento da deformação do material para acréscimos de carga iguais), sendo interrompido o ensaio. O módulo de deformabilidade é estimado para cada ciclo de carga crescente. Salienta-se que à medida que o valor da pressão aumenta, o valor do módulo de deformabilidade diminui. Os resultados obtidos exemplificam-se na Tabela 1 e no Gráfico 1.

Tabela 1: Resultados do estado de tensão e do módulo de deformabilidade (zona M1).

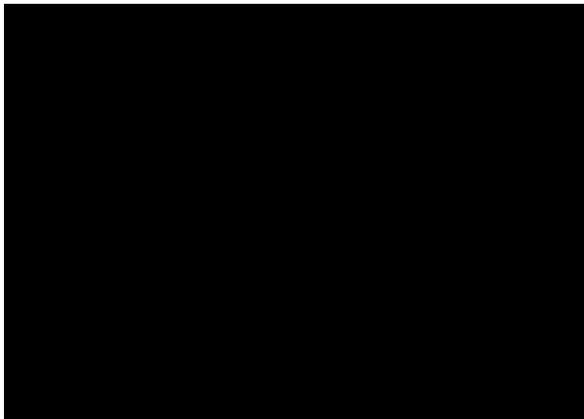
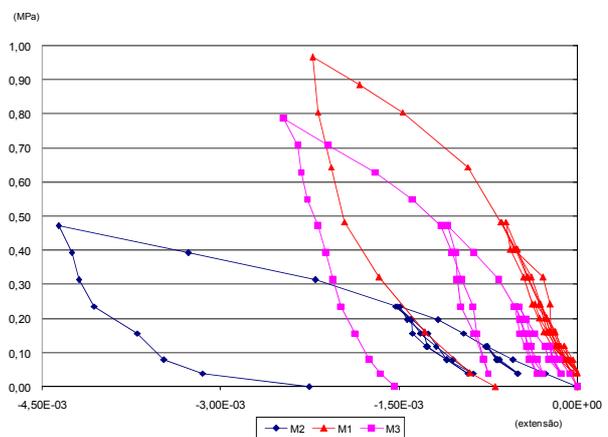


Gráfico 1: Ciclos de carga e descarga na zonas de ensaio M1 a M3 (base central)



Outras considerações sobre o estudo

O desempenho global deste tipo de edifícios antigos face à acção sísmica depende significativamente da resposta das suas paredes, isoladamente e em conjunto, com os elementos que com elas interactivam, como é o caso dos pavimentos e das coberturas. Para além de assimetrias relacionadas com a distribuição de massa e rigidez que podem resultar em modos importantes de torção, é de especial importância a existência de solidarização estrutural entre os elementos da construção referidos no parágrafo anterior, nomeadamente, ligações entre paredes ortogonais, paredes e pavimentos e paredes periféricas e a cobertura.

Conclusões do estudo [3]

Os elementos estruturais dos edifícios estudados (paredes, pilares, arcos e abóbadas) são constituídos por alvenaria de pedra da região (basalto), argamassada com ligante de terra facilmente desagregável. A secção transversal das paredes aparenta ser de pano duplo (interior e exterior) separados por um núcleo central preenchido com material de fraca qualidade, verificando-se algum

embricamento entre paredes ortogonais. As paredes divisórias/compartimentação (não estruturais) são constituídas por tabiques, contraplacados e por blocos de betão vazado.

A estrutura principal dos pavimentos é constituída por elementos de madeira, verificando-se pontualmente, perfis metálicos (INP 400), lajes pré-fabricadas, lintéis de basalto e abóbadas e arcos em alvenaria de pedra (basalto).

A estrutura principal das coberturas é constituída, na generalidade, por elementos de madeira (casquinha, acácia e criptoméria) entregues nas paredes de alvenaria, verificando-se, também, estruturas de betão armado.

As sondagens realizadas sobre fissuras com orientação bem definida no material de revestimento de paredes revelaram a sua continuidade para a alvenaria.

Em elementos de madeira com função estrutural importante foram executados 21 ensaios de resistografia para avaliar os efeitos da podridão e da infestação por insectos xilófagos. Na generalidade, esses elementos aparentam encontrar-se em bom estado de conservação, verificando-se indícios pontuais de ataques de insectos xilófagos (aparentemente não activos) e de podridão. Os ensaios evidenciaram variações pontuais e importantes de densidade nas secções resistentes, constatando-se, na generalidade, uma elevada resistência à penetração da broca.

As anomalias com relevância estrutural detectadas em paredes e pavimentos, nomeadamente, flechas excessivas e fissuração com direcção bem definida, parecem ter origem em várias causas, nomeadamente, deficiente capacidade resistente das alvenarias face às solicitações verticais (cobertura em betão armado, arquivos e bibliotecas), pequenos movimentos estruturais e danos causados por sismos passados.

Para avaliação das propriedades mecânicas das paredes de alvenaria resistente foram feitos 3 ensaios com macacos planos de pequena área. Salienta-se um estado de tensão baixo na generalidade das zonas ensaiadas (entre 0,02 e 0,09 MPa), e um comportamento muito deformável para patamares de carga relativamente baixos, traduzindo a fraca resistência do material de preenchimento das juntas. A resistência deste material foi ainda avaliada e corroborada através de 26 ensaios de arrancamento de uma hélice.

O estudo realizado revelou a necessidade do tratamento preventivo/curativo das madeiras, da reparação das anomalias existentes e do reforço estrutural dos edificios com o objectivo de melhorar o comportamento às acções verticais e horizontais. Das medidas de reforço estrutural propostas destacam-se a execução de pregagens com manga injectável em paredes ortogonais, o refechamento de juntas, a consolidação do interior da alvenaria/fendas, a execução de rebocos armados com rede polimérica e a melhoria das ligações pavimentos-paredes e coberturas-paredes com elementos metálicos.

Referencias bibliográficas

- [1] - Córias, Vítor, “Inspeções e ensaios na reabilitação de edificios”, IST Press, 2006
- [2] - Oz, Lda, Processo N.º 581 “Estudo preliminar sobre 2 dos edificios antigos da Escola Básica 2,3 Roberto Ivens, em Ponta Delgada, Açores”, 2004

-
- [3] - Oz, Lda, Processo N.º 593 “2ª fase do estudo: levantamento estrutural e levantamento das anomalias visíveis, através de inspeção detalhada com ensaios não destrutivos ou pouco intrusivos dos edifícios A e B”, 2004
- [4] - Cruz, H.; Machado, J. Saporiti; Nunes, L., „Inspeção e avaliação de estruturas de madeira“, Seminário sobre Estruturas de Madeira, Reabilitação e Inovação. GECORPA, LNEC, 2000
- [5] - G. Jones, F., “Appraisal & Assessment of the fixing of delaminated and fractured render“, 1998
- [6] - ASTM C 1197-91, “Standard test method for in-situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method”, 1991
- [7] - Rilem Technical Recommendations for the testing and use of construction materials, LUM.D.3 “In-situ strength / elasticity tests based on the flatjack”, 1994