

# LEVANTAMENTO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES ATRAVÉS DE INSPECÇÕES E ENSAIOS, NO ÂMBITO DA AVALIAÇÃO DO RISCO SÍSMICO

## Duarte Abecasis

Eng.º Civil,

Responsável por inspecções e ensaios  
dsabecasis@oz-diagnostico.pt

## Tiago Ribeiro

Eng.º Civil,

Director de produção  
tvr@oz-diagnostico.pt

## RESUMO

A avaliação da segurança dos edifícios existentes, quando submetidos a um possível evento sísmico, constitui uma das questões mais actuais. Como tal, essa avaliação é objecto de preocupação não só para os proprietários e utentes dos edifícios, como também para os técnicos ligados ao projecto e à construção e para as autoridades encarregues de tomar as medidas necessárias para minimizar os danos resultantes de tais acontecimentos.

Para essa avaliação ser viável é imprescindível que seja precedida de uma caracterização sistemática e exaustiva do edifício que se pretende estudar.

É a esta fase inicial do processo de avaliação – designada habitualmente por levantamento – que se refere o presente artigo. Pretende-se com ele enumerar e ilustrar a sequência de técnicas disponíveis que constituem o levantamento de edifícios existentes.

## INTRODUÇÃO

Para uma grande parcela dos edifícios existentes, nomeadamente aqueles que foram construídos há mais de 50 anos, não se encontra disponível informação que permita definir completamente a sua estrutura. Mesmo quando esta informação existe, ela tem de ser obrigatoriamente confirmada, pois como se sabe, é usual introduzirem-se modificações na estrutura dos edifícios ao longo da sua história. O levantamento com observação directa dos

edifícios existentes é, por isso, fundamental para que a avaliação do risco sísmico se baseie em dados fiáveis.

O levantamento de edifícios existentes pode ser estruturado em cinco fases, estando o maior ou menor desenvolvimento de cada uma delas relacionado com o grau de aprofundamento que se pretende atingir no conhecimento das características do edifício. São elas:

- 1) Classificação tipológica do edifício e investigação histórica.
- 2) Levantamento da arquitectura.
- 3) Levantamento da disposição e geometria dos elementos estruturais.
- 4) Determinação das propriedades mecânicas dos elementos estruturais.
- 5) Avaliação do estado de conservação da estrutura e detecção de eventuais anomalias.

Relativamente à extensão dos trabalhos de levantamento a realizar dentro do edifício, ela poderá englobar todos os elementos estruturais do mesmo, bem como ser parcial e restringir-se apenas às fundações, a superestrutura ou à cobertura. Também é usual que algumas das fases acima referidas sejam realizadas por amostragem e não de forma exaustiva, devido à regularidade estrutural apresentada por alguns edifícios e a semelhança nas propriedades mecânicas e anomalias de materiais de construção idênticos.

O levantamento deverá ser efectuado, tanto quanto possível, com recurso a técnicas de inspecção e ensaios não destrutivos ou reduzidamente intrusivos, de forma a minimizar o incómodo causado ao normal funcionamento do edifício e reduzir os danos na sua estrutura.

## CLASSIFICAÇÃO TIPOLÓGICA DO EDIFÍCIO E INVESTIGAÇÃO HISTÓRICA

No que diz respeito à sua tipologia, os edifícios existentes em Portugal, com base no observado na cidade de Lisboa, poderão ser classificados em sete grandes grupos (1).

- Edifícios anteriores ao sismo de 1755 (edifícios pré-pombalinos).
- Edifícios construídos no período de reconstrução pós-terramoto (edifícios pombalinos).
- Edifícios correspondentes à expansão urbana da cidade, erigidos no último terço do século XIX (edifícios gaioleiros).
- Edifícios de transição das estruturas em alvenaria/madeira para o betão armado (edifícios de transição).
- Edifícios da primeira fase do betão armado, anteriores à mais antiga regulamentação sísmica (até cerca de 1960).
- Edifícios da segunda fase do betão armado, anteriores à moderna engenharia sísmica (até cerca de 1985).
- Edifícios contemporâneos de betão armado e/ou pré-esforçado.

A investigação histórica consiste na recolha e análise de toda a informação disponível e relevante sobre o edifício em causa, tal como os projectos de arquitectura e de estruturas originais; os registos e/ou projectos de modificações introduzidas na estrutura; os eventuais registos de danos causados por acções acidentais como sismos, incêndios, inundações ou outros; as notícias de alterações no uso do edifício; os pareceres ou estudos efectuados sobre o edifício; fotografias ou gravuras/pinturas do edifício.

Nesta fase é igualmente importante a recolha de informações junto dos proprietários e condóminos do edifício, especialmente junto dos mais antigos, pois é frequente lembrarem-se de alterações no mesmo ou de eventos ocorridos que não se encontram registados.

### LEVANTAMENTO DA ARQUITECTURA

Este levantamento tem como objectivo a completa definição geométrica dos elementos construtivos do edifício, em planimetria e em altimetria.

Em primeiro lugar é executado um levantamento topográfico, que servirá de apoio ao levanta-

mento mais pormenorizado da arquitectura e que consiste no levantamento das coordenadas tridimensionais de diversos pontos situados nas fachadas do edifício. Posteriormente, procede-se ao levantamento interior de cada fracção autónoma do edifício. São efectuadas medições em todos os espaços interiores, quer em planimetria, quer em altimetria, estas últimas necessárias para a execução dos cortes e alçados. Após a conclusão dos trabalhos de campo são produzidos, em suporte digital, as plantas de todos os pisos, os alçados e os cortes segundo as direcções principais do edifício.

No caso de edifícios históricos com relevos nas fachadas pode recorrer-se às técnicas de varrimento laser e de fotogrametria, de modo a criar modelos 3D fotorealistas.

As técnicas de levantamento arquitectónico poderão ter igualmente utilidade para a identificação e levantamento de deformações existentes nos edifícios, assim como para a sua monitorização.

### LEVANTAMENTO DA DISPOSIÇÃO E GEOMETRIA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Tendo por base os resultados do levantamento arquitectónico, procede-se, nesta fase, à identificação e localização dos elementos estruturais do edifício, definindo-se também a geometria das partes visíveis dos mesmos.

Em edifícios antigos a identificação das paredes resistentes de alvenaria é habitualmente feita tendo em conta a sua espessura aparente, recorrendo à abertura de janelas de inspecção (remoção do reboco em pequenas áreas) e/ou através da execução de furos com reduzido diâmetro, cujo interior é observado com auxílio de um endoscópio com feixe luminoso. Na identificação de elementos de madeira ocultos dentro de paredes de alvenaria (característicos do período pombalino), poderá recorrer-se também a equipamento de termografia, não destrutivo.

A definição da geometria dos elementos estruturais de pavimentos de madeira implica a abertura de janelas de inspecção no forro do tecto ou no soalho. Em pavimentos constituídos por abóbadas de alvenaria, ou em pavimentos constituídos por pequenas abóbadas de tijolo cerâmico e perfis metálicos, a definição da geometria poderá ser feita através de carotagens a

atravessar o pavimento ou novamente através da execução de furos e da observação do seu interior. Para se determinar a altura dos perfis metálicos dos pavimentos é frequentemente necessário proceder-se à execução de pequenos roços junto aos mesmos, sendo então definida a geometria da sua secção. Relativamente à estrutura das coberturas, caso ela não seja acessível pelo interior do edifício, a sua caracterização poderá ser feita pelo exterior, procedendo-se para isso ao destelhamento de pequenas áreas.

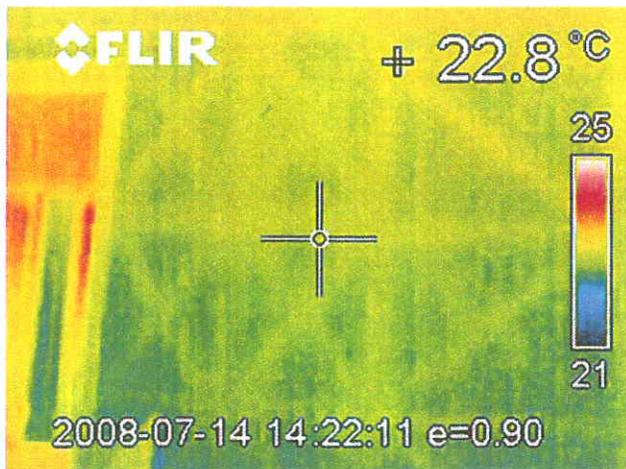
Em edifícios recentes com estrutura de betão armado, a identificação e localização de pilares e vigas é feita através de observação directa e, caso existam elementos que se encontram ocultos ou parcialmente ocultos nas paredes, é utilizado também um detector de armaduras. A constituição dos pavimentos, incluindo a natureza e a espessura dos materiais de revestimento, é habitualmente determinada através da execução de furos com reduzido diâmetro, cujo interior é observado com auxílio de um endoscópio com feixe luminoso. A definição das malhas de armaduras existentes nos elementos estruturais de betão armado é feita utilizando um detector de armaduras. Os diâmetros dos varões são confirmados através da execução de pequenos roços de sondagem.

A caracterização geométrica das fundações directas, quer em edifícios antigos quer em edifícios recentes, nomeadamente das sapatas e lintéis, é usualmente feita recorrendo a poços de reconhecimento de fundações ou a ensaios com equipamento de georadar. Os ensaios com georadar são não destrutivos, mas são menos fíaveis na determinação da espessura e do nível dos elementos de fundação.

No final desta fase é evidenciada, sobre os desenhos do levantamento arquitectónico, a estrutura do edifício, nomeadamente a implantação e a geometria de paredes resistentes, pilares e fundações, o alinhamento e a geometria de vigamentos, assim como as secções transversais dos pavimentos e dos elementos estruturais de betão armado.

### DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

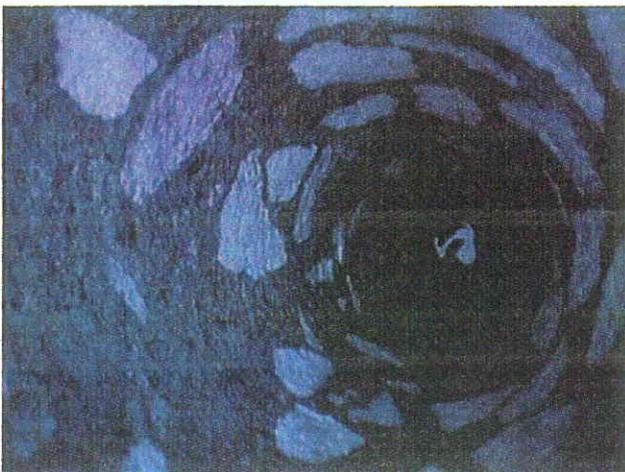
A determinação das propriedades mecânicas dos elementos estruturais de edifícios existentes pode ser feita de duas formas: através da reali-



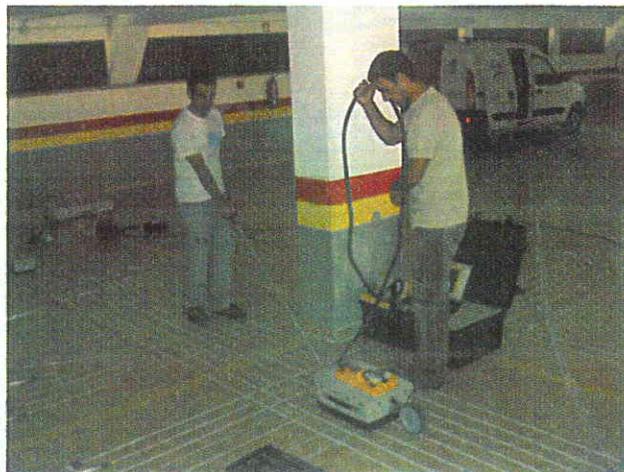
> Figura 1 – Ensaio de termografia em edifício pombalino.



> Figura 2 – Carote extraída num pavimento constituído por pequenas abóbadas de tijolo cerâmico e perfis metálicos, sendo visíveis as camadas adicionadas ao longo do tempo.



> Figura 3 – Endoscopia num pavimento de betão armado.



> Figura 4 – Realização de ensaios com georadar para caracterização geométrica de sapatas.

zação de ensaios *in-situ* ou através de ensaios laboratoriais em amostras recolhidas no local. De seguida apresentam-se os ensaios mais comuns para os materiais de construção correntes.

**Alvenaria:** a única técnica que permite avaliar as propriedades mecânicas das paredes resistentes de alvenaria *in-situ*, nomeadamente o seu estado de tensão, o seu módulo de elasticidade e, por vezes, a sua capacidade resistente, é o ensaio com macacos planos de pequena área.

**Madeira:** para a determinação das propriedades mecânicas da madeira, é necessário extrair-se amostras da estrutura, sobre as quais se poderá efectuar diversos ensaios laboratoriais. Tendo em conta a intrusividade desse procedimento e a fragilização que causa na estrutura, poderá optar-se por ensaios de resistografia, não

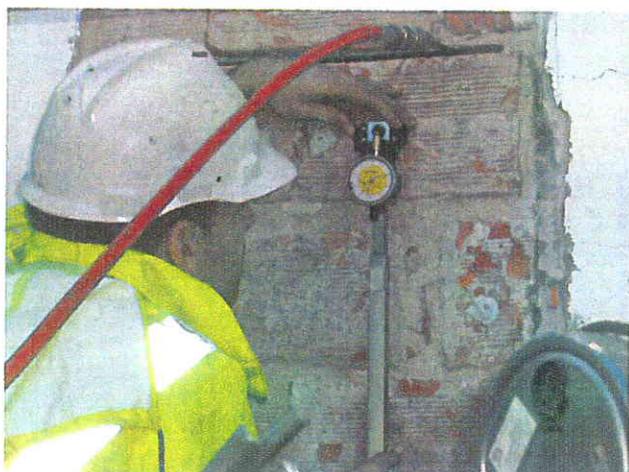
destrutivos, que avaliam qualitativamente a resistência à perfuração e a integridade dos elementos de madeira.

**Elementos metálicos:** Neste caso procede-se à extracção de amostras da estrutura, nomeadamente de pequenas chapas de perfis metálicos ou de varões de aço (em estruturas de betão armado), sendo os locais criteriosamente seleccionados de forma a fragilizar o mínimo possível a estrutura. Caso seja necessário, poderão ser introduzidos reforços após a extracção das amostras. As amostras são posteriormente trabalhadas e ensaiadas em laboratório.

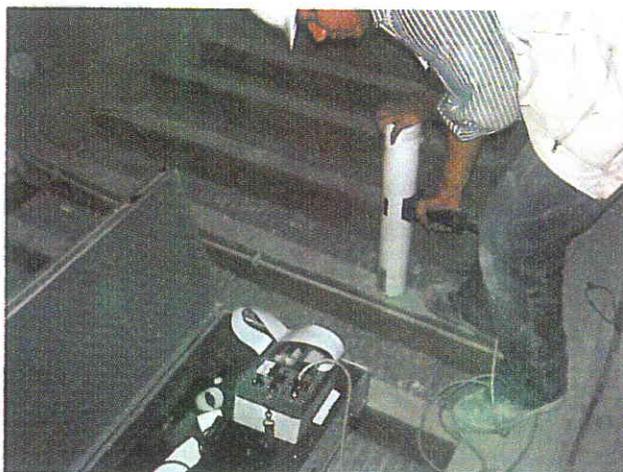
**Betão:** a resistência à compressão do betão é estimada utilizando bibliografia específica e com base nos resultados dos ensaios de rotura à compressão, realizados em laboratório sobre

carotes extraídas da estrutura. Os locais de extracção das carotes deverão ser sondados com um detector de armaduras para que não sejam intersectados varões. A avaliação da resistência à compressão do betão poderá também ser feita através de ensaios realizados *in-situ*, nomeadamente ensaios esclerométricos, ensaios de ultra-sons ou ensaios de arrancamento (*pull-off*). No entanto, todos estes ensaios são considerados métodos indirectos, o que significa que, para se obter o valor real da resistência à compressão do betão, terá de ser efectuada uma calibração com os resultados obtidos através de ensaios executados em carotes [2].

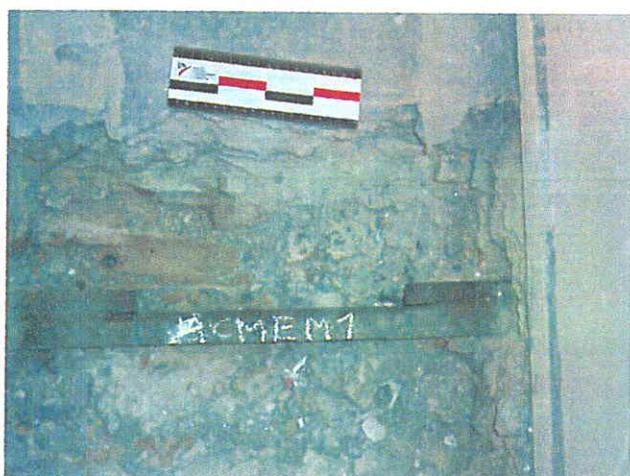
**Terreno de Fundação:** a capacidade de suporte do terreno de fundação é estimada através da realização de ensaios *in-situ*. Os ensaios mais



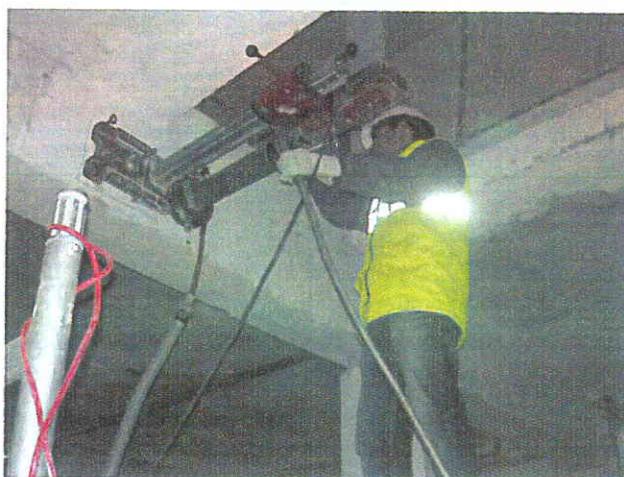
> Figura 5 – Realização de ensaio de macacos planos de pequena área.



> Figura 6 – Realização de ensaio de resistografia.



> Figura 7 – Amostra extraída do banzo superior de um perfil metálico.



> Figura 8 – Extração de carote em viga.

frequentes são o SPT, realizado a várias profundidades em furos de sondagem ou os ensaios de penetração dinâmica, nomeadamente o PDL, o DPH ou o DPSH.

#### AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA ESTRUTURA E DETECÇÃO DE EVENTUAIS ANOMALIAS

Esta fase engloba o levantamento geral das anomalias visíveis no edifício, anomalias essas que possam indicar um deficiente comportamento estrutural do mesmo. Constituem exemplos de anomalias a existência de fissuras com orientação bem definida ou de deformações aparentes excessivas. Integra-se também nesta fase uma inspeção visual criteriosa aos vários elementos

estruturais, procurando identificar-se fenómenos de degradação que possam afectar as suas propriedades mecânicas. Como complemento a uma inspeção visual criteriosa dos elementos estruturais, poderão realizar-se ensaios específicos nos mesmos, que permitam quantificar o seu grau de degradação e prever a sua evolução. Mencionam-se de seguida os fenómenos de degradação mais comuns que influenciam as propriedades mecânicas dos elementos estruturais, assim como alguns ensaios que se realizam para avaliação do grau de degradação.

Nas paredes resistentes de alvenaria aparente os fenómenos mais frequentes são a degradação da argamassa das juntas e a degradação dos blocos de alvenaria devido a fenómenos decorrentes da erosão, entre os quais se distin-

guem a esfoliação, a lascagem, a desintegração granular ou alveolização. Nos elementos de madeira deve ter-se em atenção os fenómenos de degradação biológica, nomeadamente ataques de insectos xilófagos e de fungos de podridão, podendo a integridade da madeira ser avaliada através dos ensaios de resistografia, já mencionados anteriormente. Nos perfis metálicos existentes em pavimentos é fundamental quantificar-se a redução da secção resistente devido à corrosão.

No que diz respeito ao betão armado, a principal forma de degradação é a corrosão das armaduras, que provoca não só a perda de aderência entre as mesmas e o betão, como também a redução da secção dos próprios varões. Em edifícios, este fenómeno ocorre essencialmente



> Figura 9 – Entrega da linha da asna de uma cobertura atacada por fungos de podridão.



> Figura 10 – Redução da secção resistente do perfil metálico de um pavimento devido à corrosão.



> Figura 11 – Corrosão de armaduras e delaminação do betão de recobrimento.



> Figura 12 – Avaliação da profundidade de carbonatação no betão em carotes.

nos elementos em contacto com o exterior, como varandas, terraços ou vigas e pilares de bordadura. A corrosão das armaduras é impulsionada por alterações no betão ao longo do tempo, que fazem com que as mesmas deixem de estar protegidas da agressividade do meio ambiente pelo betão que as envolve, nomeadamente a carbonatação e o aumento da taxa de cloretos na pasta de cimento. Estas alterações poderão ser quantificadas através de ensaios específicos. Visto que as mesmas habitualmente se desenvolvem do exterior para o interior dos elementos de betão armado, é também fundamental determinar o recobrimento das armaduras, de forma a avaliar o real risco de corrosão das mesmas. Tal poderá ser feito utilizando um detector de armaduras.

### CONCLUSÕES

Ao realizar o levantamento de edifícios existentes, no âmbito da avaliação da resistência sísmica, deverá ser utilizada uma abordagem integrada composta por diversas etapas devidamente estruturadas e baseadas em inspeções e em ensaios realizados *in-situ*, devendo a metodologia a seguir ser definida por um engenheiro civil com experiência em reabilitação. Os trabalhos de campo deverão ser realizados por equipas de técnicos qualificados, munidos de equipamentos de ensaio devidamente calibrados, e integrados numa empresa da especialidade, de preferência com um Sistema de Gestão da Qualidade certificado.

### REFERÊNCIAS

- [1] Lopes, M., "Sismos e Edifícios", 1ª Edição, Edições Grion, Amadora, 2008.
- [2] NPEH 1379) – Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos pré-fabricados, 2008.