

# O património arquitectónico e os sismos

## Problemática da segurança sísmica das construções históricas

Por: Paulo B. Lourenço<sup>1</sup>, Luís Ramos<sup>2</sup> e Sara Mourão<sup>3</sup>

Os sismos têm sido uma das causas mais significativas da destruição de construções históricas. Muitas das civilizações que construíram monumentos notáveis encontram-se em regiões de forte actividade sísmica: Portugal, Itália, Grécia, Turquia e outros países à volta do Mediterrâneo; Índia, Japão e China na Ásia; México, Peru e outros países da costa ocidental da América da Sul. As marcas dos sismos são mais ou menos evidentes nas construções que têm permanecido por séculos nesta região, pelo que o estudo histórico e estrutural do seu comportamento perante os sismos é um factor importante para a avaliação da sua segurança estrutural.

A ideia de que as construções que sobreviveram durante séculos sem danos ou com danos menores já demonstraram a sua segurança parece receber uma aceitação generalizada. No entanto, existem inúmeras situações em que este raciocínio é inválido porque a capacidade resistente da construção aos terremotos pode-se reduzir ao longo do tempo por diversas razões, entre as quais se salientam:

- A deterioração natural dos materiais;
- os danos sucessivos introduzidos por sismos anteriores, movimentos das fundações e acções de carácter repetitivo como o vento e as variações de temperatura;
- as modificações na estrutura e materiais de construção tais como a adição de novos corpos nos conjuntos monumentais, a ampliação de corpos existentes em planta e altura, a ligação de construções anteriormente independentes e a substituição de coberturas leves em madeira por coberturas com peso elevado.

Adicionalmente, é um facto bem conhecido que os sistemas estruturais do património arquitectónico se foram desenvolvendo, ao longo dos tempos, tendo em vista soluções cada vez mais eficientes para resistir à acção do peso da estrutura, mediante um processo de aprendizagem baseado essencialmente nas lições dos erros anteriores. Esta aprendizagem não ocorreu necessariamente no que respeita às acções eventuais e à segurança sísmica. Em países onde a ocorrência de sismos é frequente, como no

Japão, as lições fornecidas pelos danos dos sismos traduzem-se directamente em modificações da prática construtiva, que incorpora aspectos dirigidos a aumentar a resistência a estes eventos. Nos casos em que a existência de sismos destrutivos é esporádica, a modificação da prática construtiva é menos evidente ou duradoura. Este é o caso de Portugal continental, em que os sismos fortes ocorrem cada dois séculos ou mais, e no intervalo entre estes grandes acontecimentos raras vezes acontecem sismos significativos. Em particular, a lição do terramoto de 1755 e a técnica construtiva anti-sísmica que se seguiu (construção pombalina) foram quase completamente esquecidas antes de volvido um século sobre este desastre.

A Engenharia Sísmica é uma prática recente (década de 1920), traduzida em procedimentos para calcular o efeito dos sismos nas construções e determinar quantitativamente as características necessárias para proporcionar resistências em face dos terremotos. Os procedimentos e as normativas de cálculo foram desenvolvidas para construções modernas em aço e betão, sendo dificilmente aplicáveis a construções históricas pelo que a segurança sísmica destas construções é um tema particularmente complexo.

A análise e o reforço de estruturas antigas representam, efectivamente, grandes desafios devido à sua complexidade geométrica intrínseca, à heterogeneidade e variabilidade das propriedades dos materiais tradicionais, ao escasso conhecimento sobre as técnicas construtivas originais, à difícil caracterização das acções e à quase inexistência de normas ou instruções específicas que salvaguardem os técnicos responsáveis. Adicionalmente, as restrições à inspecção e remoção de amostras em edifícios de elevado valor histórico, bem como os custos elevados das tarefas de inspecção e diagnóstico, conduzem frequentemente a informação muito reduzida sobre a composição construtiva interna dos elementos estruturais e sobre as propriedades dos materiais existentes.

Apesar disso, nos últimos anos têm-se verificado investimentos consideráveis nesta área, os quais têm



Paulo B. Lourenço



Luís Ramos



Sara Mourão

resultado num desenvolvimento técnico-científico notável no âmbito da inspecção, das técnicas de ensaios não-destrutivos, da monitorização e da análise estrutural. O estudo das construções históricas deve ser desenvolvido com base na utilização adequada das modernas tecnologias, sendo o especialista responsável por escolher e gerir os meios técnicos e financeiros disponíveis para alcançar os elementos necessários e suficientes para o conhecimento sobre a construção, o seu comportamento estrutural e as suas necessidades reais de reparação.

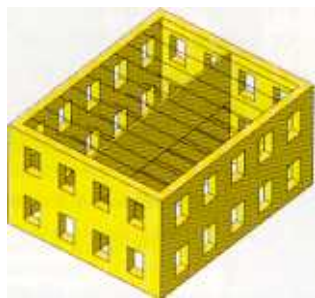
### Dois exemplos emblemáticos em Portugal: Baixa Pombalina e Conjunto Monumental dos Jerónimos

As construções históricas e, em particular, os monumentos em Portugal, são geralmente em alvenaria de pedra, resultando em construções pesadas e muito rígidas. Isto resulta em forças e acelerações elevadas aquando da ocor-

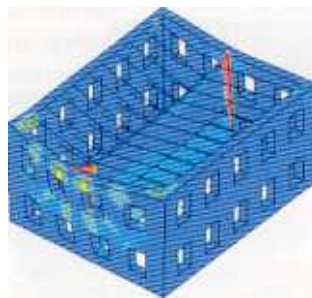
Arcada mais de 50 por cento do sistema estrutural do quarteirão foi profundamente alterado e apenas cerca de 20 por cento do sistema estrutural se encontra ainda na sua forma original [1]. Estes valores são por si só ilustrativos do estado de algum do património em Portugal.

As sucessivas intervenções na compartimentação dos edifícios e a introdução de materiais com características mecânicas radicalmente diferentes dos elementos originais, poderão enfraquecer os sistemas estruturais dos edifícios relativamente à acção dos sismos. Por essa razão a Universidade do Minho, em colaboração com a empresa OZ, Lda, tem vindo a desenvolver desde 1999 um estudo sobre a segurança deste património.

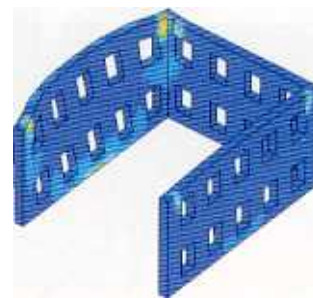
Na Figura 1 ilustram-se os resultados obtidos recorrendo a uma simplificação do edifício-tipo pombalino com apenas dois pisos. Os resultados permitem comprovar o comportamento deficiente do edifício, em especial, no caso de um sismo perpendicular à direcção do frontal.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 - Estudo de um edifício pombalino: (a) representação das paredes exteriores, frontal e soalho; (b) deformação e fendilhação provocada pela acção do sismo na direcção do frontal; (c) deformação e fendilhação provocada pela acção do sismo na direcção normal ao frontal. O azul escuro indica ausência de fendilhação, enquanto que as restantes cores indicam níveis de fendilhação (máximo a vermelho).

rência de terremotos com possibilidade de danos consideráveis.

A Baixa Pombalina da Cidade de Lisboa, por ser constituída por solos sedimentares argilo-arenosos e por se situar junto à falha do Vale Inferior do Tejo, é área de elevado risco sísmico, devendo ser tomadas as medidas necessárias para atenuar os possíveis danos e prejuízos que um sismo pode provocar no edificado Pombalino.

A Baixa Pombalina representa um conjunto arquitectónico e cultural de importância muito significativa que tem sofrido alterações sucessivas nos espaços interiores e nas estruturas das construções, sem modificações significativas nos aspectos arquitectónicos exteriores. Para um quarteirão tão significativo quanto o Quarteirão do Martinho da

Neste caso, obteve-se colapso do frontal para uma carga de cerca de 30 por cento da acção sísmica regulamentar e colapso das paredes exteriores paralelas ao frontal para cerca de 80 por cento da acção sísmica regulamentar. Em qualquer dos casos, a segurança não parece ser verificada.

Na Figura 2 ilustram-se os resultados do estudo preliminar que contempla a totalidade do quarteirão. Verifica-se que as frequências de vibração são relativamente reduzidas, o que conduzirá a acelerações muito elevadas e danos previsíveis nas zonas mais deformadas da figura para terremotos com epicentro próximos de Lisboa.

O segundo caso de estudo aqui apresentado é, talvez, o monumento mais emblemático do património arquitectónico português e trata-se do Mosteiro dos Jerónimos.



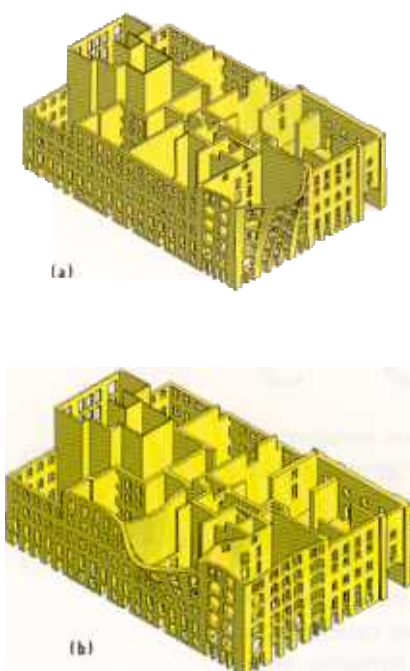


Figura 2 - Estudo preliminar do quarteirão do Martinho da Arcada: (a) modo de vibração 1 -  $f_1 = 0.92$  Hz e (b) modo de vibração 2 -  $f_2 = 1.33$  Hz

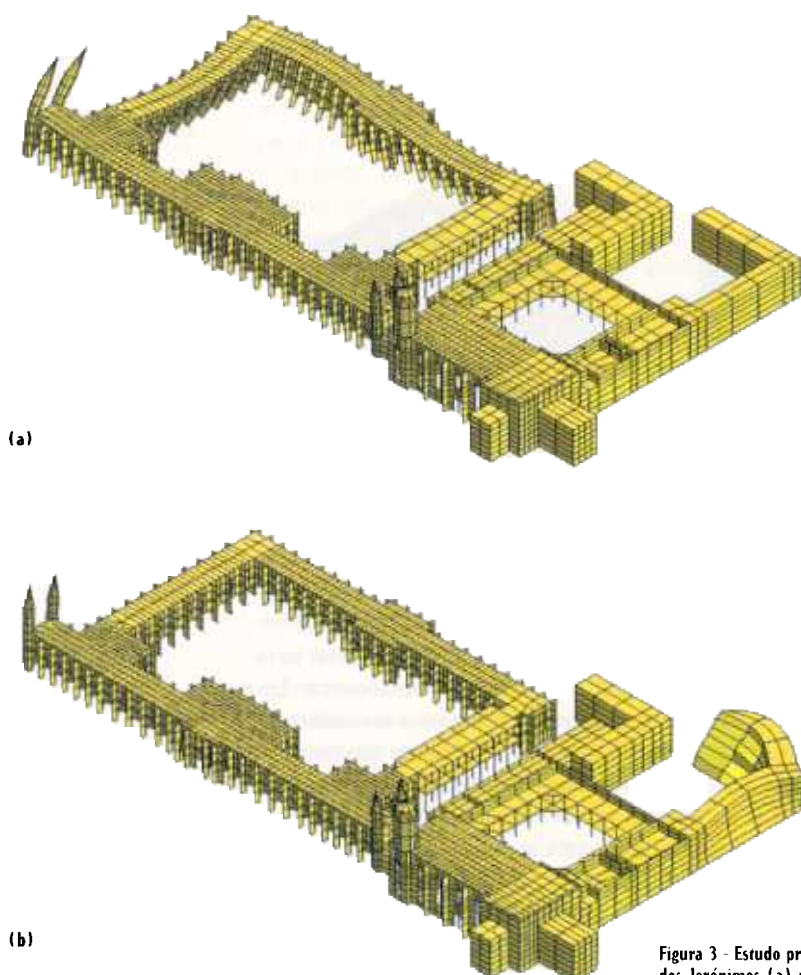


Figura 3 - Estudo preliminar do conjunto monumental dos Jerónimos (a) modo de vibração 1 -  $f_1 = 3.05$  Hz e (b) modo de vibração 3 -  $f_3 = 3.93$  Hz

O conjunto monumental resistiu bem ao terramoto de 1 de Novembro de 1755 mas, em Dezembro de 1756, novo tremor de terra fez ruir uma coluna do corpo da igreja, que servia de apoio à abóbada das naves, e fez ruir parte dessa abóbada. Terá sido por essa época que ruiu também a abóbada do vão do arco do meio, em que assenta o coro alto. Para além disso, durante o século XIX, assistiu-se à desfiguração do conjunto, tendo-se desmantelado as acomodações domésticas dos frades, a biblioteca, o relógio da torre, os altares do coro e do claustro. Entre outras modificações e demolições, substituiu-se a torre octogonal da igreja. Mais recentemente, as reparações nos telhados conduziram a um aumento de massa significativo ao nível das coberturas.

É provável que as alterações verificadas na estrutura tenham reduzido a sua resistência à acção dos sismos pelo que a Universidade do Minho e o GECORPA iniciaram, em 1999, um estudo sobre o conjunto monumental. Os resultados já obtidos permitem constatar que a zona mais crítica do conjunto são os pilares que apoiam a nave principal da Igreja de Santa Maria de Belém. Para além dos pilares, as zonas das torres e alas posteriores do Museu da Marinha bem como a Casa Pia parecem ser as zonas mais afectadas na ocorrência de um terramoto. Salienta-se que as frequências obtidas são particularmente elevadas pelo que os sismos com epicentro afastado serão em princípio mais gravosos para esta estrutura.

### Conclusões e Proposta de Actuação

Parecem não existir dúvidas que a ocorrência de um terramoto de média ou grande intensidade em Portugal continental conduzirá a danos significativos no património arquitectónico. Os programas de reconstrução pós-terramoto são incapazes de reconstituir o património arquitectónico, vidas humanas ou o património museológico que normalmente está albergado no interior do património. Desta forma os danos resultantes de um terramoto representam perdas irreparáveis que, de forma alguma, podem ser quantificáveis em termos económicos.


Cuidar da integridade do património arquitectónico localizado em regiões sísmicas é assim um assunto de importância nacional e um desafio para a geração presente de engenheiros, arquitectos e restantes técnicos envolvidos na conservação e reabilitação deste património. (ver também [2]). Salienta-se que, em Portugal, algumas das zonas mais ricas em termos de património arquitectónico classificado (distritos de Lisboa, Santarém, Évora e Portalegre) se situam em zonas de risco sísmico elevado. No caso de Lisboa, analisaram-se os casos da Baixa

Pombalina e do conjunto monumental dos Jerónimos.

A teoria moderna de gestão do património deve incluir a preparação para situações de risco associadas a terremotos de média e elevada intensidade [3]. Uma abordagem sistemática com vista à resolução deste problema deve incluir as fases seguintes (ver também [4]):

- Recolha da documentação existente sobre as construções históricas acompanhada de inspeções visuais, feitas por equipas de especialistas. Definição de prioridades em função da importância arquitectónica e anomalias observadas;
- levantamento da geometria, caracterização detalhada das anomalias e da deterioração, com avaliação das propriedades mecânicas dos materiais e verificação da segurança das construções, de acordo com a prioridade estabelecida. Estabelecimento de uma estratégia de intervenção para o caso em estudo;
- projecto e implementação de um sistema de gestão do património que inclua toda a informação anterior, bem como, planos de reabilitação sísmica e/ou monitorização contínua nos casos justificados e planos de emergência para todos os casos;

- efectiva realização dos planos de reabilitação sísmica e/ou monitorização contínua num horizonte temporal adequado.

Com o actual estado do conhecimento é inquestionável que uma avaliação sistemática e credível do risco sísmico do património arquitectónico é possível e necessária. A metodologia proposta representa um desafio imenso para o governo e suas instituições, universidades, centros de investigação, profissionais e empresas de construção, sendo certo que as ferramentas e conhecimentos técnico-científicos necessários estão disponíveis. 

<sup>1</sup> Professor Associado da Universidade do Minho.  
<sup>2</sup> Bolseiro de Investigação da Universidade do Minho.  
<sup>3</sup> Monitora da Universidade do Minho.

#### BIBLIOGRAFIA:

- [1] RAMOS, L. LOURENÇO, P.B., (2000) "Análise das técnicas de construção pombalina e apreciação do estado de conservação estrutural do quarteirão do Martinho da Arcada". *Engenharia Civil UM*, 7, p. 35-46
- [2] SOUSA OLIVEIRA, C., PINTO, A.V., (1995) "Comportamento sísmico de monumentos: Estudo da portaria de São Vicente de Fora". *Monumentos*, nº 2, p. 54-59
- [3] STOVEL HERB., (1998) *Risk Preparedness: A management manual for world cultural heritage*. ICCROM
- [4] CÓIAS E SILVA, V., LOURENÇO, P.B., (1999) "Património arquitectónico e risco sísmico". *Ingenium*, nº 42, p. 70-73



Convento de S. Francisco  
Coimbra  
Reabilitação e beneficiação  
das coberturas  
Execução de cobertura  
dupla com isolamento



## Património Arquitectónico

A recuperação do nosso património arquitectónico passa por uma escolha criteriosa dos materiais a utilizar, por forma a garantir a eficácia da intervenção e a manutenção da identidade cultural de cada edifício. Colaboramos na reabilitação e beneficiação de coberturas com o absoluto respeito pela traça original.

# Cumianto

**Sede e Fábrica**  
Tel. 219 518 800

**Delegação Norte**  
Tel. 229 436 050

Cortes da Quintinha  
Fax 219 518 899

E.N. 107 ao Km 8,5 (junto ao aeroporto)  
Fax 229 436 059

2601-503 ALHANDRA  
email [tecnicomercial@cumianto.pt](mailto:tecnicomercial@cumianto.pt)

4470-628 MOREIRA MAIA  
email [delegacaonorte@cumianto.pt](mailto:delegacaonorte@cumianto.pt)

