

As estruturas de terra e os sismos

Paulo B. Lourenço

Professor Associado com Agregação

Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil

pbl@civil.uminho.pt

O poder devastador dos grandes sismos tem sido demonstrado de forma repetida e continuada ao longo do tempo. O sismo de 1755 em Lisboa que provocou cerca de 30.000 mortos e o sismo recente (Dezembro de 2004) a oeste de Sumatra, que provocou mais de 280.000 mortos, são exemplos conhecidos de cenários catastróficos associados a magnitudes muito elevadas. No entanto, o sismo de Bam em 2003 terá conduzido a mais de 26.000 mortos e à destruição praticamente completa de uma cidade património mundial, para uma magnitude moderada. A razão mais importante para a ocorrência desta calamidade foi uma qualidade de construção inadequada, baseada em deficientes concepções estruturais e execução, com recurso a diferentes materiais e incluindo um amplo uso de terra.

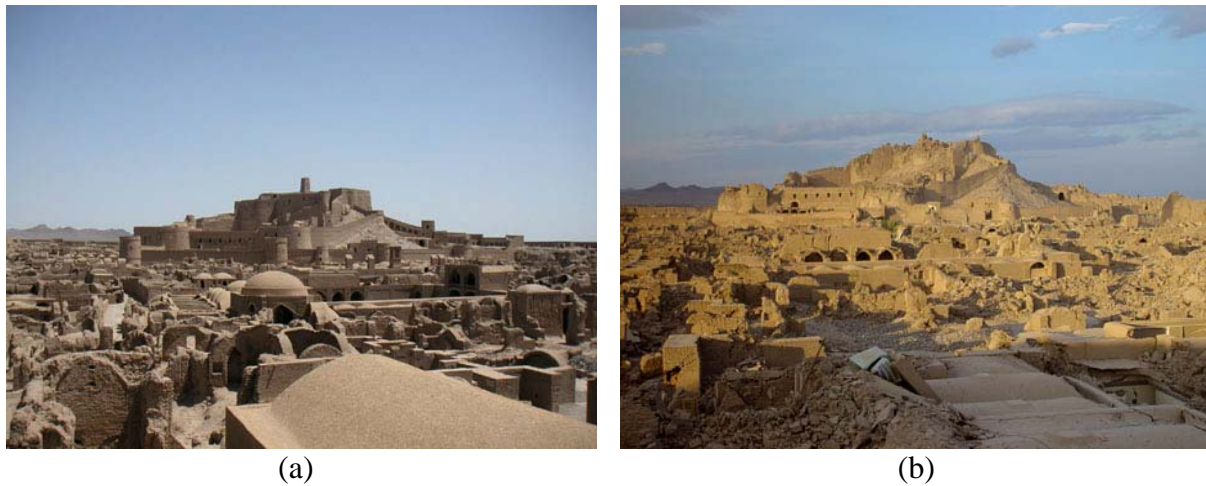


Figura 1 – Sismo de Dezembro de 2003 em Bam, Irão: (a) antes e (b) depois.

Dada a sua natureza é bastante provável que sismos de grande potencial destrutivo ocorram no futuro em Portugal. Assim, é da responsabilidade de todos os intervenientes (autoridades, investigadores, projectistas e empresas) envidar esforços no sentido de minorar perdas humanas e danos físicos nas construções. Os conhecimentos adquiridos na última década, não somente devidos à investigação, mas também os resultantes da análise dos efeitos causados pelos grandes sismos que ocorreram recentemente, permitem reduzir a vulnerabilidade sísmica do edificado existente e, simultaneamente, definir soluções técnicas adequadas para a nova construção. Desta forma, abordam-se na presente comunicação os aspectos mais relevantes a considerar no comportamento sísmico de estruturas em terra.

Construções Existentes

Ainda que nem sempre seja fácil efectuar classificações do edificado, importa distinguir as construções de valor cultural das restantes (que eventualmente podem possuir valor cultural de conjunto, quando integradas num centro histórico). A generalidade das recomendações existentes sobre reforço sísmico [1-3] não contemplam as construções de valor cultural, com excepção de [4]. Como princípio básico, salienta-se que os regulamentos concebidos para construções novas não podem ser geralmente aplicados ao património arquitectónico sob risco de perda completa de autenticidade.

As estruturas existentes reflectem o estado do conhecimento à data da sua construção, podendo possuir erros de concepção ou execução grosseiros e escondidos, e podendo possuir danos desconhecidos devidos a acções do passado (incluindo sismos). Desta forma, a avaliação da segurança estrutural e a definição de medidas de intervenção podem possuir um grau de incerteza substancialmente mais elevado que no caso das estruturas novas. Por outro lado, a observação do comportamento da estrutura ao longo do tempo, a possibilidade de efectuar ensaios sobre a estrutura existente e sobre os materiais que a compõem, podem conduzir a um conhecimento mais aprofundado que no caso de uma estrutura nova.

No caso de reforço sísmico de uma estrutura em terra que apresente resistência insuficiente, devem ser considerados os seguintes aspectos: (a) todos os erros grosseiros devem ser eliminados; (b) nos edifícios altamente irregulares (rigidez ou resistência), a regularidade em planta e altura deve ser melhorada; (c) deve-se aumentar a ductilidade das secções ou elementos mais frágeis; (d) o aumento de resistência obtido não deve reduzir a ductilidade global da estrutura para um nível inaceitável; (e) os lintéis frágeis devem ser substituídos; (f) as ligações inadequadas entre paredes e pavimentos, e entre paredes transversais, devem ser melhoradas; (g) os impulsos horizontais sobre paredes devem ser eliminados. A intervenção poderá incluir aspectos de alteração de resistência, rigidez ou ductilidade de elementos estruturais, colocação de novos elementos estruturais, introdução de dissipadores de energia, redução de massa, demolição parcial ou total, entre outros.

Construções Novas

Para além do seu baixo custo e do seu processo tecnológico simples, a arquitectura de terra possui características térmicas e acústicas excelentes. No entanto, as construções em terra são particularmente vulneráveis a fenómenos naturais tais como sismos, chuva e inundações. A construção tradicional em terra possui uma resposta fraca à acção sísmica sofrendo danos severos ou colapso total, e causando a perda de vidas humanas e bens. A deficiência sísmica é provocada pelo elevado peso das construções, a reduzida resistência mecânica e o comportamento frágil.

As características mais importantes para melhorar a resistência sísmica de uma construção em terra são as seguintes [5,6]: (a) escolha adequada dos materiais (solo, areia, palha e, eventualmente, armadura); (b) a presença do nível freático a profundidade adequada; (c) a boa qualidade da execução; (d) a definição de uma solução estrutural robusta. Como recomendações gerais, sugere-se que se construam casas de apenas um piso em Portugal, que a cobertura seja o mais leve possível (se não acessível) ou que seja executado com recurso a abóbadas (se acessível), e que a fundação seja firme. A cobertura deve estar sempre convenientemente ligada às paredes.

A forma do edifício deve ser regular e simétrica, idealmente de planta rectangular (ou com associação de volumes rectangulares independente, separados por juntas). As paredes devem desenvolver-se de forma contínua em ambas as direcções. Os edifícios de maior área poderão ter um pátio interior para ventilação e iluminação, com drenagem adequada, em vez de recorrer a plantas com protuberâncias, em T ou L.

As paredes deverão possuir uma altura inferior a 7 vezes a sua espessura (com um máximo de 3.5 m) e um comprimento livre inferior a 10 vezes a espessura da parede (com um máximo de 5 m). Caso se adoptem comprimentos superiores é necessário promover contrafortes adicionais pelo exterior. As aberturas deverão possuir uma largura máxima de 1.2 m, com um máximo de um terço do comprimento da parede, e os nembos formados entre aberturas deverão ter uma largura mínima também de 1.2 m. O prolongamento dos lintéis para cada lado da abertura deve possuir um comprimento mínimo de 0.3 m. A espessura mínima das paredes deve ser de 0.4 m, ainda que as paredes de taipa devam ser efectuadas com

espessura variável em altura (com um mínimo de 0.3 m de espessura no topo e um alargamento para base no exterior com um declive de 1:12).

As fundações devem ser consideradas, em geral, com uma largura entre uma vez e duas vezes a espessura da parede, dependendo da altura do construção e da qualidade do terreno de fundação, e com uma profundidade mínima de 0.4 m. Recomenda-se que a fundação seja realizada em alvenaria de tijolo ou pedra, utilizando argamassa com ligante hidráulico. Desejavelmente, deveria ainda existir um plinto realizado na mesma alvenaria com uma altura mínima de 0.30 m acima do nível do terreno, acima do qual se coloca uma membrana hidrófuga e, em seguida, a construção em terra.

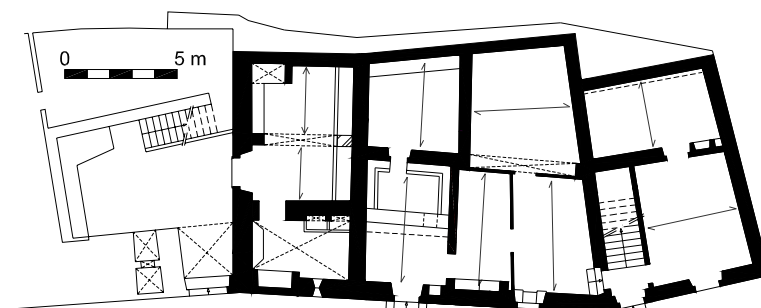
Desejavelmente deverão ser ainda tomadas medidas anti-sísmicas que incluam pilastras nos cantos e intersecções de paredes, com um desenvolvimento mínimo igual à espessura da parede. Outras soluções possíveis de melhoramento sísmico são: (a) a utilização de armadura (no caso português em madeira ou, em alternativa, em redes ou varões de aço e fibra de vidro) no interior das paredes ou à face das mesmas (estrutura tipo pombalina); (b) a utilização de uma viga-cinta em betão armado (ou madeira) no coroamento da parede.

Caso de Estudo

Apresenta-se de seguida um caso de estudo sobre a segurança sísmica da Casa do Lanternim, uma construção em alvenaria e taipa que se integra na malha urbana da povoação de Mértola. Trata-se de uma edificação de três pisos (r/c+2), com cobertura de apenas uma água em telha de canudo, ver Figura 1.



(a)



(b)

Figura 1 – Casa do Lanternim: (a) alçado principal e (b) planta do rés-do-chão

Do ponto de vista sísmico, salientam-se os aspectos que a seguir se descrevem. Ainda que o edifício seja aproximadamente ortogonal e simétrico em planta, o edifício deve ser classificado como irregular em planta uma vez que a rigidez dos pavimentos não é suficiente para permitir o funcionamento das plantas como diafragmas rígidos. Em altura, tal como é típico de estruturas de alvenaria, as paredes estruturais são contínuas. No entanto, o edifício possui elevada assimetria em altura pelo que também deverá ser considerado como irregular em altura. Verifica-se a existência de duas divisões com vãos elevados (cerca de 10 m) não contraventados.

Para avaliar edifícios de alvenaria resistente com um número reduzido de pisos, é comum adoptar métodos simplificados. No entanto, estes métodos exigem normalmente que o edifício seja regular e simétrico, que as lajes dos pisos constituam diafragmas rígidos e que o modo de colapso condicionante ocorra por esforço de corte no plano dos muros. Na maior parte das estruturas antigas, estas duas últimas condições não se verificam, pelo que a avaliação de segurança recorrendo a métodos simplificados não oferece garantia, resultando apenas numa ideia geral da aptidão do edifício para resistir aos sismos [7,8]. O indicador mais simples que permite avaliar a resistência das estruturas de alvenaria é a percentagem da área total da planta ocupada pelas paredes resistentes ao corte (paredes de contraventamento), recomendando-se um valor de 10% para construções em alvenaria irregular ou terra. Definem-se ainda como paredes de contraventamento aquelas cuja espessura mínima é 0.40 m. Neste caso, as áreas das paredes estruturais, em percentagem da área total em planta, são 17.1% na direcção longitudinal e 5.6% na direcção transversal, pelo que a resistência sísmica na direcção transversal deve ser considerada com reservas.

Com base nos resultados obtidos através do método simplificado, justifica-se uma análise estrutural mais complexa, admitindo o comportamento não-linear dos materiais (ver [9] para detalhes). Para a análise global da estrutura consideraram-se as paredes que, previsivelmente, funcionarão como paredes estruturais no caso da acção sísmica. Os pavimentos / cobertura de madeira não foram incluídos no modelo, atendendo à previsível deficiente ligação entre a estrutura de alvenaria e as estruturas de madeira, bem como devido às dificuldades de quantificação da rigidez destes elementos. Os resultados para acção do sismo na direcção transversal encontram-se representados na Figura 2 para o sismo regulamentar verificando-se fendilhação muito significativa na parede transversal, que atinge 1.3 cm.

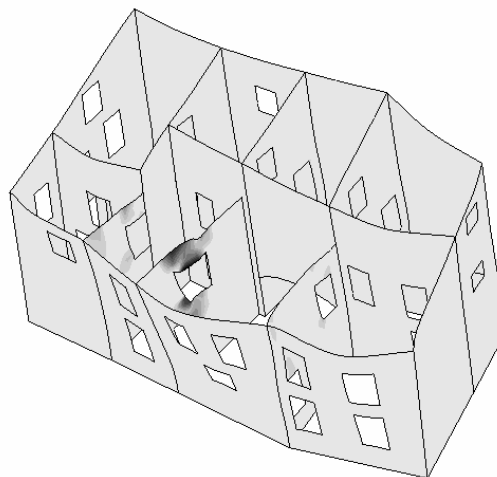


Figura 2 – Fendilhação e deformada obtida na análise para a acção base sismo na direcção transversal (escala de cinzentos representa o valor da largura das fendas)

Para a intervenção no edifício com vista a melhorar o seu comportamento sísmico, sugeriu-se o seguinte: (a) reparar e fendas e vazios com técnicas adequadas; (b) substituir / reparar as zonas de alvenaria com características mecânicas manifestamente insuficientes; (c) identificar qualitativamente, “in situ”, defeitos estruturais localizados (não considerados na análise) e respectivas medidas correctivas; (d) definição de medidas que resultem numa acção de diafragma rígidos dos pavimentos e cobertura (por exemplo recorrendo a dois soalhos cruzados a 90°, a elementos metálicos ou a uma lajeta de betão de pequena espessura e a efectiva ligação dos pavimentos / cobertura às paredes); (e) melhorar a ligação dos cunhais e da intersecção das paredes recorrendo a pregagens, perfis metálicos ou redes metálicas. (f) concentrar as áreas com maior peso (por exemplo arquivo e biblioteca) no r/c; (g) necessidade de criar uma nova parede de contraventamento na zona em que a parede exterior não se encontra contraventada; (h) necessidade de criar uma nova parede em alvenaria resistente para apoio da escada e do lanternim; (i) necessidade de reforçar a zona saliente da chaminé, por exemplo com rede metálica / fibra de vidro; (j) necessidade de reforçar o apoio da chaminé ao nível do rés-do-chão; (k) necessidade de reforçar os nembos do lanternim, por exemplo com rede metálica / fibra de vidro.

Referências

1. BSSC, Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings, FEMA 356, 2000.
2. ISO, Basis for design of structures – Assessment of existing structures, ISO 13822, 2003.
3. CEN, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 3: Strengthening and repair of buildings, prEN 1998-3:2004, 2004.
4. ICOMOS, Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage, 2001. Versão portuguesa disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
5. Blondet, M., Villa Garcia, G., Brzev, S., Earthquake-resistant construction of adobe buildings: A tutorial, EERI/IAEE World Housing Encyclopedia, 2003.
6. BIS, Improving earthquake resistance of earthen buildings – Guidelines, IS 13827 : 1993, 1993.
7. Lourenço, P.B., Roque, J.A., Simplified indexes for the seismic vulnerability of ancient masonry buildings, Construction and Building Materials, 2005.
8. Roque, J.A., Reforço e reabilitação estrutural de paredes de alvenarias antigas. Tese de mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2002. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
9. Lourenço, P.B., Vasconcelos, G., Avaliação da segurança sísmica da Casa do Lanternim (Mértola), Relatório CON-01-DEC/E-1, Universidade do Minho, 2001.