

Segurança sísmica em áreas de reabilitação urbana localizadas em zonas ribeirinhas do Algarve

Seismic safety in urban rehabilitation areas located in riverside zones of Algarve

João M. C. Estêvão

Departamento de Engenharia Civil, ISE-UAlg. CIMA, Universidade do Algarve

Resumo

Nos últimos anos foram definidas diversas Áreas de Reabilitação Urbana (ARU) um pouco por todo o Algarve, no enquadramento da legislação atualmente em vigor, sendo que muitas delas se localizam em zonas ribeirinhas. Em muitos dos documentos anexos à criação das ARUs situadas no Algarve aparecem referências aos danos motivados por sismos, com particular ênfase nos que resultaram do sismo de 1 de novembro de 1755. É também referida a influência deste sismo na alteração do tecido urbano das zonas afetadas. De uma forma geral, não são apresentados documentos oficiais que realcem o problema do risco sísmico associado às ARUs de zonas ribeirinhas, designadamente tendo em conta as características geológicas da costa algarvia. Nesse contexto, no presente trabalho é feita uma descrição dos fatores que mais influenciam a segurança sísmica das construções tipicamente existentes em ARUs da costa algarvia, e é ilustrado numericamente o problema da cidade de Albufeira.

Palavras-chave

Segurança sísmica, Algarve, Área de reabilitação urbana, Zonas ribeirinhas.

Abstract

Recently, several Urban Rehabilitation Areas (URA) have been defined throughout the Algarve, in the context of the present legislation, many of them placed in riverside zones. In the Algarve, many document included in the creation of the URA's refer the damage resulting from earthquakes, with special emphasize to the November 1st 1755 earthquake. Moreover, they also refer the influence of this earthquake in the following changes that occurred in the urban tissue of the affected areas. In general, no official documents have been presented emphasizing the problem of seismic risk associated to URAs located in riverside zones, namely considering the geological characteristics of the Algarve coast. In this context, the main factors affecting the seismic safety of the Algarve typical constructions are described in the present work, and the problem is numerically shown for the city of Albufeira.

Keywords

Seismic safety, Algarve, Urban Rehabilitation Area, Riverside zones.

Introdução

O setor do turismo de Portugal evidenciou um forte crescimento no último ano, e a região do Algarve não foi exceção. Esta dinâmica também se tem traduzido em investimento em pequenas unidades hoteleiras, localizadas nas zonas mais antigas das cidades, designadamente em edifícios que foram reabilitados para o efeito, e na aquisição por parte de cidadãos estrangeiros de habitações antigas que depois reabilitam a seu gosto. Muitas dessas construções estão localizadas em Áreas de Reabilitação Urbana (ARU). As primeiras ARUs do Algarve foram criadas no enquadramento do Decreto-Lei nº 307/2009 de 23 de outubro, e as mais recentes já foram criadas no contexto jurídico da Lei nº 32/2012 de 14 de agosto, cujo aparecimento de forma generalizada pelo Algarve foi impulsionado pela recente criação de instrumentos financeiros para a reabilitação e revitalização urbana, no contexto das ARUs definidas pelos diversos municípios.

Está escrito no Decreto-Lei nº 307/2009 que este primeiro documento surgia da necessidade de se encontrar soluções para cinco grandes desafios que se colocam à reabilitação urbana, não sendo a mitigação do risco sísmico um desses desafios. Assim, na legislação em vigor sobre as ARUs somente é referida a necessidade de que o autor do projeto declare, através de termo de responsabilidade, que a desconformidade com as normas em vigor não é originada nem agravada pela operação de reabilitação urbana. O Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de abril também segue a mesma linha legislativa, estendendo esta lógica de que as operações de reabilitação não devem, unicamente, diminuir a segurança sísmica, também a edifícios localizados fora de áreas de reabilitação urbana, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos e em que se justifique uma intervenção de reabilitação.

Esta lógica legislativa, de alguma indiferença perante o risco sísmico, entra em contradição com outros documentos oficiais de ordenamento do território, como o PROT Algarve, onde o risco sísmico do Algarve é motivo da existência de um anexo específico para esse problema [1], e tendo em conta que, em face desse risco, ter sido promovido o Estudo do Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve [2].

A questão é tão mais preocupante porque basta ler as memórias descritivas e documentos anexos à criação das ARUs do Algarve, para rapidamente percebermos qual foi a importância dos sismos ocorridos no passado na evolução da malha urbana das zonas das ARUs. Começando de Barlavento para Sotavento, e a título de exemplo, podemos encontrar os seguintes textos nos documentos anexos à criação das ARUs das cidades de:

- Lagos - «As características do parque edificado foram decisivamente marcadas pelo terramoto de 1755, que provocou destruições de grande monta na cidade, subsistindo apenas um reduzido número de edifícios de construção anterior a esse evento. A maioria das construções tradicionais é datável dos finais do século XVIII, do século XIX e século XX.»;
- Portimão - «A quase totalidade das muralhas foi destruída, em grande parte devido ao sismo de 1755 e maremoto que se seguiu», «o do bairro do “Sapal”, embora não o casario actual, pois o original foi destruído aquando do Grande Terramoto de 1755»;
- Lagoa - «O núcleo antigo da Cidade de Lagoa, embora reconstruído após o terramoto de 1755, herdou uma estrutura urbana com Características medievais»;

- Silves - «A cidade entra em clara decadência, situação que se acentuou nos séculos XVI, XVII e XVIII em consequência da saída do Bispado para Faro em 1577, e mais tarde com o terramoto de 1755.», «[...] pelo facto da malha original irregular ter sido destruída aquando do terramoto de 1755.»;
- Albufeira - «[...] antigo Bairro Santana, completamente destruído aquando do terramoto de 1 de novembro de 1755», «[...] evidencia uma reutilização de materiais oriundos de outras ermidas, destruídas com o terramoto de 1755», «Os terramotos ocorridos no séc.XVIII, sobretudo o de 1 de Novembro de 1755 seguido de marmoto, produziu grandes alterações no espaço intramuros, os registos apontam para um número enorme de vítimas, a destruição da maioria do edificado e das muralhas (27 casas permaneceram de pé).»;
- Quarteira - «Atingida em 1755 pelo sismo, Quarteira sofreu imensos estragos, tendo o tsunami atingido a casa do morgado [...] a cerca de três quilómetros da praia.»;
- Loulé - «O terramoto de 1755 causou imensos danos à fortaleza», «Igreja Matriz [...] os sismos de 1755, de 1856 e de 1969 danificaram bastante a Igreja», «Convento Espírito Santo [...] O terramoto de 1755 danificou a estrutura, na reconstrução do edifício em finais do século XVIII foi introduzido um claustro», «O abalo sísmico de 1755, destrói parte das cercas e a igreja do Convento da Graça, parte do Convento do Espírito Santo e grande parte dos troços e torres da muralha do castelo. Em 1756, para alojar os desabrigados, do sismo, é aberta a Rua das Cabanas no sector sul»;
- Faro - «Convento N^a Sr^a da Assunção [...] 1755 - Destruição parcial pelo terramoto de 1 de Novembro», «Sé Catedral [...] 1722 e 1755 - Remodelação/reconstrução dos danos provocados pelos terramotos», «Paço Episcopal [...] 1755 - Remodelação de parte do edifício e revestimento azulejar das várias dependências após o terramoto», «Muralhas [...] 1755 - Forte destruição pelo terramoto», «Igreja e Hospital da Misericórdia [...] 1755 - Os danos provocados pelo terramoto obrigaram à mudança do culto», «Igreja de Sto. António dos Capuchos [...] 1755 - Queda da abóbada».

Não obstante terem ocorridos outros sismos no passado do Algarve, designadamente durante o século XVIII, é óbvio que as principais referências a danos ocorridos no património histórico do Algarve, existentes nos documentos das ARUs, são referentes ao grande sismo de 1755, até porque existem poucas construções na região que sejam anteriores à data desse sismo. Por exemplo, em Vila do Bispo somente uma casa ficou em pé, o que revela a capacidade destruidora desse sismo na região [3].

No entanto, também existem situações que nos devem fazer refletir, e que devem motivar a realização de mais estudos científicos sobre o assunto, pois, por exemplo, a Ermida de Nossa Senhora de Guadalupe (monumento nacional, eventualmente da primeira metade do século XIV), que se localiza muito próximo de Vila do Bispo, aparentemente terá sobrevivido aos sismos ocorridos até hoje [3, 4], desde a sua construção (Figura 1). Qual o motivo dessa aparente capacidade de sobreviver à ocorrência de sismos? Será pelo facto de estar assente num afloramento rochoso, e por isso mesmo não ter sido sujeita ao mesmo nível de vibração que outras construções que colapsaram? Será porque apresenta uma solução estrutural com alguma robustez, designadamente tendo em conta o número de contrafortes que possui? E quais terão sido, efetivamente, os danos que resultaram da ocorrência do sismo de 1755, atendendo a que esta foi alvo de uma intervenção no século XX, no contexto da política de restauro do Estado Novo [4], com a reconstrução de alguns elementos estruturais?



Figura 1. Estado atual da Ermida de Nossa Senhora de Guadalupe.

Tendo em conta toda a incerteza que reveste o risco sísmico do Algarve, no presente trabalho são apresentados alguns fatores que podem influenciar a segurança sísmica das construções tipicamente existentes em ARUs da costa algarvia.

Influência da geologia do Algarve na segurança sísmica

O risco sísmico de uma construção depende da perigosidade sísmica do local onde esta é edificada, e da vulnerabilidade sísmica da construção. A segurança sísmica de uma construção está associada à sua fiabilidade estrutural, que corresponde ao inverso do risco.

Para conhecermos a segurança sísmica do património existente nas ARUs do Algarve, é fundamental entendermos a influência da geologia no risco sísmico da região, quer por esta afetar a perigosidade sísmica dos locais onde as construções estão edificadas, quer porque esta também afeta a vulnerabilidade sísmica das construções tradicionais algarvias, pois influencia as características mecânicas dos materiais de construção.

O efeito das características dos terrenos de fundação na perigosidade sísmica, designadamente no nível de amplificação das vibrações sísmicas, já está bastante estudado [5]. Terrenos de fundação estratificados, com camadas de solos com baixas velocidades de propagação de ondas S (V_S), dispostas sobre substratos rochosos mais rígidos (conduzindo assim a elevados contrastes de impedância), tendem a evidenciar uma elevada amplificação das vibrações, quer ao nível da aceleração de pico, quer em termos espectrais, fatores muito importantes na segurança sísmica das construções, o que pode ser um problema na zona da costa algarvia [6].

Por norma, as características dos edifícios construídos no passado foram baseadas no conhecimento ancestral das técnicas de construção, que normalmente era transmitido oralmente, e através da demonstração prática, do mestre para o aprendiz, também influenciadas por fatores culturais, mas essencialmente dependentes dos materiais de construção existentes na natureza nas proximidades do local de construção. Isso é evidente na generalidade das grandes cidades do passado. A título de exemplo, podemos constatar que durante o império romano, na cidade de Roma e região envolvente, os

romanos construíram abundantemente com betão pozolânico, atendendo à sua herança geológica de origem vulcânica, mas em Londres usaram o tijolo cerâmico de forma generalizada, fruto de um contexto geológico muito diferente, com existência de argila em abundância.

Assim, a segurança sísmica do património existente em cada região do algarve será fruto do seu enquadramento sismotectónico e das características geológicas dos locais que forneciam a matéria-prima para a construção tradicional. Também é necessário conhecer as práticas de construção tradicional do passado, pois é um saber que importa preservar para memória futura, e que está a desaparecer no Algarve [7].

Do ponto de vista geológico, o Algarve apresenta zonas muito distintas. Infelizmente, as características geológicas das zonas ribeirinhas do Algarve tendem a agravar, simultaneamente, a perigosidade sísmica desses locais e a vulnerabilidade sísmica das construções tradicionais de alvenaria que lá se encontram edificadas.

Aumento da perigosidade sísmica nas ARUs de zonas ribeirinhas

O aumento da perigosidade sísmica de um local em relação a um outro pode resultar de uma maior proximidade a falhas ativas, ou a zonas sísmicamente mais ativas, ou em função das características geológicas do local e da sua topografia.

Esta preocupação é evidente na NP EN 1995-5:2010 [8], onde está escrito o seguinte: "Devem efetuar-se estudos geológicos especiais para fins de planeamento urbano e para estruturas importantes a construir nas proximidades de falhas potencialmente activas em zonas de elevada sismicidade, de modo a determinar a perigosidade sísmica em termos de rotura do terreno e de severidade da vibração do terreno". Assim, esta questão deverá ganhar especial importância no contexto das ARUs, dado que a delimitação destas áreas também se pode classificar como um instrumento de planeamento urbano, e atendendo à localização das falhas sísmicamente ativas existentes no mapa de riscos do PROT Algarve [9], pois tal poderá aumentar significativamente a perigosidade sísmica de algumas ARUs de zonas ribeirinhas.

Tendo em atenção o mapa 10 (riscos) do PROT Algarve [9], as atuais ARUs que estão mais próximas de falhas sísmicamente ativas estão localizadas em Portimão, Albufeira, Quarteira e Loulé. Se atendermos à geologia local, as ARUs do litoral são aquelas que apresentam terrenos mais brandos, designadamente onde o sismo de 2009/12/17 evidenciou um elevado nível de amplificação neste tipo de terrenos de fundação localizados em Portimão, tendo sido registados fatores máximos de amplificação espectral iguais a cinco. As simulações estocásticas realizadas para esse sismo permitiram perceber que foram as características da estratificação dos solos a originar esse nível de amplificação das vibrações sísmicas [10].

Consideremos, por exemplo, a ARU do Centro Antigo da Cidade de Albufeira, grande parte localizada numa zona ribeirinha onde no passado existia água, de acordo com mapas antigos [3]. A zona foi entretanto assoreada por camadas de solo, que foram sendo depositadas ao longo dos tempos, e em face do desvio da ribeira, sendo que hoje são os terrenos de fundação de uma elevada densidade de construção.

De acordo com a cronologia conhecida, o património da cidade tem sido recorrentemente afetado por sismos no passado, designadamente no século XVIII [3, 11, 12], com os sismos de 6 de março de 1719 (danificou muitos edifícios em Albufeira), de 27 de dezembro de 1722 (Albufeira foi uma das povoações mais fustigadas do Algarve) e 1 de novembro de 1755 (com a ruína da maior parte dos edifícios).

Caso ocorresse um sismo hoje, numa das falhas que estão indicadas no mapa de riscos do PROT Algarve, qual seria o grau de dano nas construções? Para termos uma ideia da possível influência das características geológicas da cidade, foram realizadas diversas simulações estocásticas de sismos recorrendo ao programa SIMULSIS, o qual tem sido usado com sucesso para simular diversos sismos do passado [10, 13, 14].

No Anexo NA.I da NP EN 1998-5:2010 [8] são indicadas duas magnitudes representativas dos sismos associados a um período de retorno $T_R=475$ anos: $M=5.2$, correspondente a um cenário de sismo próximo, e $M=7.5$, com a rotura mais afastada. Em relação a Albufeira, o cenário de sismo próximo poderá ocorrer nas duas falhas indicadas no mapa 10 do PROT Algarve [9], que, em termos de proximidade e magnitude, é algo equiparável ao ocorrido em 2011 em Lorca (Espanha) [15], com graves consequências para a cidade. O cenário considerado neste estudo foi o da possível ocorrência de um sismo ($M=5.2$) na falha mais pequena paralela à costa, com rotura superficial (profundidade de 2 km) e próxima de Albufeira (Figura 2). O local de estudo corresponde à zona da ARU ribeirinha que estava submersa no passado. As características da coluna de solo foram obtidas da recolha de informação realizada para o Estudo de Risco Sísmico e Tsunamis do Algarve [16], para a cidade de Albufeira, cujas velocidades das ondas S estão apresentadas na Figura 2. Os resultados médios (100 simulações) estão apresentados na Figura 3.

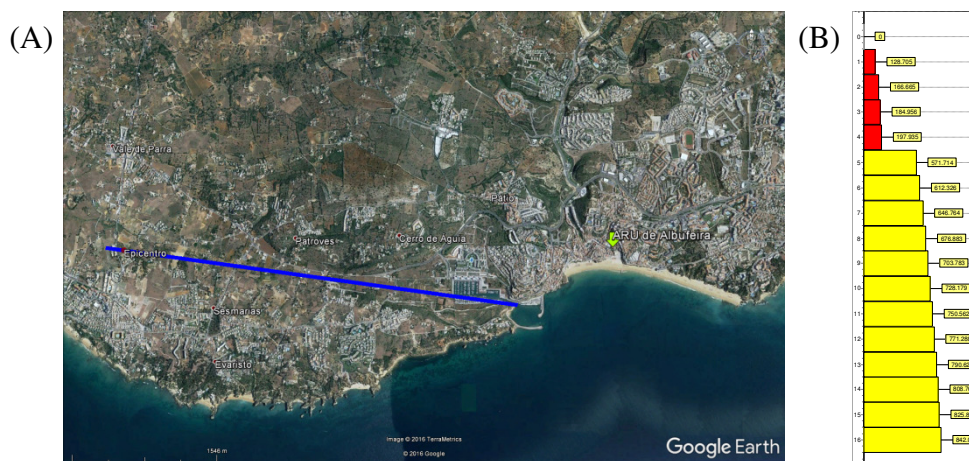


Figura 2. (A) Localização da rotura adotada no cenário de um sismo próximo de Albufeira, de magnitude $M=5.2$, e (B) características da coluna de solo usada nas simulações (com V_s da camada superficial igual a 165.1 m/s, um valor médio para os 30 m superficiais igual a $V_{s,30} = 429.8$ m/s, e uma frequência de corte $f_{\max}=15$ Hz).

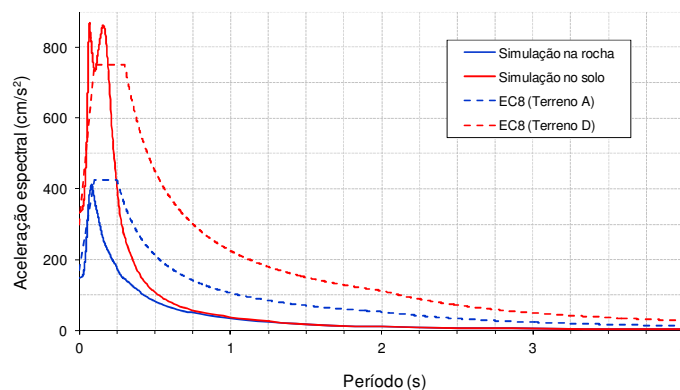


Figura 3. Comparação entre os resultados obtidos das simulações para Albufeira (magnitude $M=5.2$, com uma queda de tensão média de 80 bar) e os espectros de resposta elástica da NP EN 1998-1:2010 [17].

Aumento da vulnerabilidade sísmica nas ARUs de zonas ribeirinhas

O nível de vulnerabilidade sísmica das construções tradicionais do Algarve, executadas em alvenaria resistente, está intimamente relacionado com as características geológicas da região. Na serra algarvia predominam as construções de xisto, depois aparece uma faixa muito estreita onde existem construções em alvenaria com pedra mais ou menos aparelhada em arenito argiloso (o denominado "grés de Silves", de que é exemplo a construção da Figura 1), a que se segue uma zona com calcários de elevada resistência (de acordo com o resultados de ensaios laboratoriais [18]). Por fim, temos a zona costeira com alvenarias constituídas por pedras muito irregulares, onde é usual a existência de materiais com múltiplas origens na mesma parede (Figura 4), como, por exemplo, os denominados "caliços" (calcretos), os conglomerados, os arenitos e os calcários. Estas paredes combinam pedras de grandes dimensões, juntamente com pedras irregulares muito pequenas, normalmente ligadas com uma argamassa de fraca resistência, que se desfaz facilmente ao toque.



Figura 4. Exemplo do tipo de alvenaria existente na zona costeira do Algarve (foto tirada na freguesia de Albufeira).

Ainda não existem estudos sistemáticos sobre as características mecânicas das alvenarias da zona mais costeira do Algarve. Contudo, alguns estudos laboratoriais realizados com pedra calcária [18] demonstraram que as formas das pedras, e como estas estão imbricadas, são fatores muito importantes no valor da resistência à compressão deste tipo de alvenaria. Assim, é muito provável que as alvenarias da faixa litoral do Algarve apresentem uma menor resistência (compressão e corte), quando comparadas com as das zonas mais interiores, dado que as pedras possuem formas muito mais arredondadas, e sem qualquer tipo de aparelhamento na maior parte dos casos.

Os valores de resistência anteriormente obtidos em laboratório, para esse tipo de alvenarias, apontam para a inviabilização da garantia da sua segurança sísmica para os níveis de ação obtidos nas simulações realizadas para Albufeira, realizadas como exemplo. Estudos numéricos também têm demonstrado que a adoção de medidas de reforço sísmico, nas construções a reabilitar, permite reduzir a grande dispersão de resultados que diferentes sismos da mesma magnitude parecem induzir nas construções tradicionais de alvenaria de pedra, aumentando a segurança sísmica [19].

Conclusões

As simulações realizadas para o local de estudo situado na ARU do Centro Antigo da Cidade de Albufeira, permitiram perceber que um sismo próximo (e relativamente superficial) com uma magnitude $M=5.2$ poderá originar resultados semelhantes aos indicados na NP EN 1998-1:2010, desde que o terreno de fundação seja classificado com base na velocidade das ondas S das camadas acima do substrato rochoso, e não no valor de $V_{S,30}$. As características das camadas de solo superficial têm um papel muito importante no nível de vibração a que cada construção irá ser sujeita, condicionado o seu nível de segurança, pelo que deveriam ser realizados estudos geológicos/geotécnicos nas zonas das ARUs do Algarve, de modo a que sejam criados mapas de risco sísmico que possibilitem a identificação das zonas das ARUs que apresentam maiores necessidades de intervenção de reforço. A combinação de uma maior perigosidade sísmica associada aos terrenos de fundação ribeirinhos, juntamente com o aumento da vulnerabilidade das construções tradicionais das zonas costeiras (atendendo às características mecânicas dos materiais usados, e ao menor aparelhamento das pedras que integram as paredes nestas zonas), origina o aumento do risco sísmico das ARUs do litoral. Isto poderá, por si só, explicar as maiores intensidades sísmicas observadas em 1755 ao longo da costa algarvia, o que deverá ser motivo de preocupação para a região.

Referências

- 1 MAOTDR, *PROTALGARVE. VOLUME II - CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO. ANEXO J - APRECIÇÃO DO RISCO SÍSMICO NO ALGARVE*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, (2004).
- 2 Oliveira, C.S., 'Principais ensinamentos a colher do Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve', in *ESTUDO DO RISCO SÍSMICO E DE TSUNAMIS DO ALGARVE*, ANPC, Autoridade Nacional de Protecção Civil, Carnaxide (2010), 163-165.
- 3 Costa, A.; Seabra, C.; Nunes, S., 'O que nos diz a história', in *1755 - TERRAMOTO NO ALGARVE*, A. Costa; M.C. Abreu, Centro Ciência Viva do Algarve, Faro (2005), 13-152.

- 4 DGPC, 'Ermida de Nossa Senhora de Guadalupe', in *SIPA – SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O PATRIMÓNIO ARQUITETÓNICO*, Forte de Sacavém, http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=1290 (acesso em 2017-03-31).
- 5 Estêvão, J.M.C.; Carvalho, A., 'The role of source and site effects on structural failures due to Azores earthquakes', *ENGINEERING FAILURE ANALYSIS*, **56** (2015), 429-440, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.12.010>.
- 6 Estêvão, J.M.C., 'Análise da perigosidade sísmica do Algarve: o passado e o futuro', in *5AS JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS / ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL 2014 / 9º CONGRESSO NACIONAL DE SISMOLOGIA E ENGENHARIA SÍSMICA*, LNEC, Lisboa (2014), 1-16, CD93.
- 7 Costa, M.R., *CASAS E MONTES DA SERRA ENTRE AS ESTREMAS DO ALENTEJO E DO ALGARVE*, Edições Afrontamento, Porto, (2014).
- 8 IPQ, *NP EN 1998-5. EUROCÓDIGO 8: PROJECTO DE ESTRUTURAS PARA RESISTÊNCIA AOS SISMOS. PARTE 5: FUNDAÇÕES, ESTRUTURAS DE SUPORTE E ASPECTOS GEOTÉCNICOS.*, Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, (2010).
- 9 MAOTDR, *PROTALGARVE. VOLUME III - ELEMENTOS COMPLEMENTARES*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, (2007).
- 10 Estêvão, J.M.C.; Oliveira, C.S., 'Utilização de acelerogramas simulados na análise sísmica de estruturas', in *8º CONGRESSO NACIONAL DE SISMOLOGIA E ENGENHARIA SÍSMICA*, Universidade de Aveiro, Aveiro (2010), 1-13.
- 11 DGPC, 'Castelo de Albufeira/Castelo e cerca urbana de Albufeira', in *SIPA – SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O PATRIMÓNIO ARQUITETÓNICO*, Forte de Sacavém, http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=15571 (acesso em 2017-03-31).
- 12 Chester, D.K.; Chester, O.K., 'The impact of eighteenth century earthquakes on the Algarve region, southern Portugal', *THE GEOGRAPHICAL JOURNAL*, **176**(4) (2010), 350–370, doi: 10.1111/j.1475-4959.2010.00367.x.
- 13 Estêvão, J.M.C.; Oliveira, C.S., 'Ground motion simulation for dynamic structural analysis: pros and cons', in *15TH WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING*, SPES, Lisbon (2012), 1-10.
- 14 Estêvão, J.M.C.; Oliveira, C.S., 'Point and fault rupture stochastic methods for generating simulated accelerograms considering soil effects for structural analysis', *SOIL DYNAMICS AND EARTHQUAKE ENGINEERING*, **43** (2012), 329-341, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.07.019>.
- 15 Cabañas, L.; Alcalde, J.M.; Carreño, E.; Bravo, J.B., 'Characteristics of observed strong motion accelerograms from the 2011 Lorca (Spain) Earthquake', *BULL EARTHQUAKE ENG.* (2013), 1-24, doi: 10.1007/s10518-013-9501-0.
- 16 Silva, J.; Estêvão, J.M.C.; Martins, C., *GEOALGARVE, BASE DE DADOS DA CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DO ALGARVE*, EST, Universidade do Algarve, (2007).
- 17 IPQ, *NP EN 1998-1. EUROCÓDIGO 8: PROJECTO DE ESTRUTURAS PARA RESISTÊNCIA AOS SISMOS. PARTE 1: REGRAS GERAIS, ACÇÕES SÍSMICAS E REGRAS PARA EDIFÍCIOS.*, Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, (2010).
- 18 Cabral, P.; Braga, A.; Estêvão, J.M.C., 'Caracterização mecânica da alvenaria tradicional de pedra do Algarve', in *5AS JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS / ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL 2014 / 9º CONGRESSO NACIONAL DE SISMOLOGIA E ENGENHARIA SÍSMICA*, LNEC, Lisboa (2014), 1-13, CD56.
- 19 Maio, R.; Estêvão, J.M.C.; Ferreira, T.M.; Vicente, R., 'The seismic performance of stone masonry buildings in Faial island and the relevance of implementing effective seismic strengthening policies', *ENGINEERING STRUCTURES*, **141** (2017), 41-58, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.03.009.