



RISCOS



AVALIAÇÃO, MITIGAÇÃO E COMUNICAÇÃO DO RISCO SÍSMICO: ENSINAMENTOS DO PROJETO PERSISTAH\*

ASSESSMENT, MITIGATION, AND SEISMIC RISK COMMUNICATION: LESSONS FROM THE PERSISTAH PROJECT

161

João M. C. Estêvão

Universidade do Algarve, CIMA (Portugal)

ORCID 0000-0002-7356-9893 [jestevao@ualg.pt](mailto:jestevao@ualg.pt)

Mónica A. Ferreira

Instituto Superior Técnico, CERis (Portugal)

ORCID 0000-0001-7024-499X [monicaf@civil.ist.utl.pt](mailto:monicaf@civil.ist.utl.pt)

Luís Fazendeiro Sá

Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (Portugal)

ORCID 0000-0001-8059-2453 [luis.sa@prociv.pt](mailto:luis.sa@prociv.pt)

Carlos S. Oliveira

Instituto Superior Técnico, CERis (Portugal)

ORCID 0000-0002-5967-7126 [csoliv@civil.ist.utl.pt](mailto:csoliv@civil.ist.utl.pt)

RESUMO

O projeto PERSISTAH foi pioneiro em Portugal na utilização das metodologias de avaliação sísmica estipuladas no EC8, aplicando-as a um conjunto alargado de escolas do 1.º ciclo do ensino básico existentes na região do Algarve. Para que fosse possível atingir esse objetivo ambicioso, foi desenvolvido um programa informático que permite avaliar o nível de segurança sísmica de uma escola. No entanto, também é importante garantir que as populações entendam que mesmo que um edifício cumpra os requisitos de segurança sísmica estipulados num regulamento, as estruturas não são concebidas para resistir aos sismos intensos sem danos. Assim, a comunicação do risco sísmico é de grande importância para o aumento da resiliência sísmica das comunidades. Para isso, foram criados textos de apoio à comunidade estudantil de modo a facilitar a assimilação de conceitos e de medidas de autoproteção e de mitigação do risco, especialmente as relacionadas com os elementos não-estruturais, que poderão ficar seriamente danificados mesmo em edifícios corretamente projetados, podendo causar ferimentos ou mesmo a perda de vidas e das funções do edifício. Neste trabalho, foi usada a Escola EB2 de Sagres como ponto de referência dos resultados apresentados.

**Palavras-chave:** Risco sísmico, reforço sísmico, comunicação do risco, escolas do Algarve.

ABSTRACT

The PERSISTAH project was groundbreaking in Portugal in using the seismic assessment methodologies that are established in the EC8, and applying them to a large set of primary schools in the Algarve region. To achieve such an ambitious goal, software was developed to assess the seismic safety of the schools. However, it is also important to ensure that populations understand that even if a building complies with all the seismic safety requirements that are established in a code, and that structures are not designed to survive intense earthquakes without suffering any damage. So, risk communication is very important to increase the seismic resilience of communities. Supporting texts were created for the student community to facilitate the assimilation of concepts, and prevention and mitigation measures, especially those related to non-structural elements; these might be severely damaged even in properly designed buildings, which could cause injuries or even the loss of life and of the functions the building. In this work, the EB2 School of Sagres was used as a reference point of the presented results.

**Keywords:** Seismic risk, seismic retrofitting, risk communication, Algarve schools.

\* O texto desta nota corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 29-12-2020, sujeito a revisão por pares a 01-02-2021 e aceite para publicação em 06-08-2021. Esta nota é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 29 (I), 2022, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Os sismos são considerados como os desastres naturais que maiores destruições causam, produzindo diferentes tipos de perdas: físicas, sociais, económicas, ambientais e culturais. As perdas físicas, sejam vidas humanas, edifícios ou infraestruturas, para além de causarem um impacto violento no indivíduo, atingem seriamente a sociedade, trazendo graves problemas à economia e à estabilidade social. É importante frisar que não basta estudar um equipamento ou uma estrutura, isoladamente, pois as funções a que se destinam são produto de um sistema, de um conjunto de estruturas, atores e funções; sendo necessário fazer uma abordagem holística do problema (Ferreira, 2012). As escolas têm um papel essencial na sociedade, não só antes de uma catástrofe, por fixarem populações, serem fontes de emprego, e centros de educação dos mais jovens, como depois das catástrofes, por desempenharem funções de abrigo e de gestão da catástrofe, pelo que a sua perda representa um agravamento da resiliência de determinada zona afetada. Por outro lado, devemos ter presente que o uso das escolas numa situação pós-sismo, para alojamento na fase pós-catástrofe, não pode ser demasiado prolongado por ter associada uma interrupção indeterminada do ensino, causando um impacto ainda maior nas crianças e na comunidade.

Têm sido evidentes os efeitos dos sismos em países como a Itália (Augenti *et al.*, 2004; Di Ludovico *et al.*, 2018; O'Reilly *et al.*, 2018) ou o México (Alberto *et al.*, 2018), onde ocorreram colapsos de edifícios escolares que provocaram vítimas mortais. Estes edifícios foram construídos quer com estrutura de betão armado, quer em alvenaria tradicional. Algumas dessas escolas tinham sido objeto de intervenções de reabilitação, mas sem ter em conta a segurança sísmica (Augenti *et al.*, 2004). Em Portugal, também existem muitas escolas do 1.º ciclo do ensino básico que foram sujeitas a intervenções visando melhorar as suas características térmicas e tentando criar espaços mais modernos e funcionais, contudo sem existirem intervenções de relevo em relação à segurança sísmica. Provavelmente, a recente legislação sobre reabilitação publicada em Portugal em 2019 (DRE, 2019), que estabelece a Parte 3 (IPQ, 2017) do Eurocódigo 8 (EC8-3) como base dos estudos de vulnerabilidade sísmica, irá, lentamente, mudar as atitudes dos promotores imobiliários e dos técnicos ligados à construção civil em relação ao problema do risco sísmico. Contudo, também trará alguns desafios técnicos que serão necessários ultrapassar.

O projeto PERSISTAH (Projetos de Escolas Resilientes aos Sismos no Território do Algarve e de Huelva), desenvolvido ao abrigo do programa INTERREG Espanha-Portugal, foi pioneiro em Portugal na aplicação das metodologias de avaliação sísmica previstas no EC8-3

em larga escala, aplicando-o a um elevado número de escolas do 1.º ciclo do ensino básico existentes no Algarve (a região em que este artigo incide). Este era um objetivo ambicioso e, para o alcançar, foi desenvolvido um programa informático que permite a avaliação do nível de segurança sísmica de escola para dois tipos de ação sísmica (Estêvão, 2019): a ação regulamentar estipulada na Parte 1 (IPQ, 2010a) do Eurocódigo 8 (EC8-1) e a ação resultante de um determinado cenário de ocorrência de um sismo. Com este tipo de ferramenta informática é possível hierarquizar as necessidades de reforço sísmico dos edifícios das escolas. A sua utilização permitiu verificar que as antigas escolas do Algarve, construídas em alvenaria de pedra, não satisfazem os níveis de segurança atualmente exigidos (Estêvão *et al.*, 2021), o que é especialmente preocupante atendendo ao elevado número de crianças que ainda estudam nesse tipo de edifícios. Por outro lado, mesmo construções mais modernas, já com estrutura em betão armado, projetadas com base em regulamentos mais antigos, também não cumprem os atuais requisitos de segurança sísmica (Barreto e Estêvão, 2020; Estêvão e Esteves, 2020; Tomás *et al.*, 2019).

Foi neste contexto que foi realizado o reforço sísmico da Escola Básica de Brancanes (Olhão, Algarve) (Estêvão *et al.*, 2021), que se pretende que funcione como estudo-piloto para os profissionais que trabalham na região, tendo em conta este novo desafio para o setor da construção civil do Algarve.

Neste trabalho foi usada a localização da Escola EB2 de Sagres como ponto de referência (uma escola de betão armado do tipo P3) como exemplo dos resultados obtidos no projeto PERSISTAH por se localizar na zona de maior perigosidade sísmica, de acordo com o EC8-1.

## Perceção do risco e resiliência sísmica

Tem sido observado, um pouco por todo o mundo, que as populações não têm consciência do risco sísmico dos edifícios onde habitam, mesmo em sociedades que possuem códigos sísmicos modernos e onde os sismos são frequentes (e, portanto, onde é provável que tenham uma maior perceção do risco), como o Chile, as expectativas sobre o comportamento dessas construções face a um sismo são irrealistas (Lew *et al.*, 2010). É importante que as populações compreendam que, mesmo que um edifício cumpra todos os requisitos de segurança sísmica estipulados num regulamento moderno, as estruturas não são concebidas para resistir aos sismos sem danos, podendo até mesmo ser economicamente inviável a sua reparação após um sismo muito intenso. Uma estrutura bem projetada somente tem como objetivo garantir a salvaguarda da vida humana. Um sismo moderado poderá causar danos moderados ou severos, principalmente a nível não estrutural, afetando assim o funcionamento

das instalações por tempo indeterminado, para além de pôr em causa a segurança das pessoas e equipamentos e provocar avultadas perdas económicas.

No seguimento da ocorrência do sismo de Tohoku, que atingiu o Japão em 2011, um cientista (Geller, 2011) sugeriu que tinha chegado a altura de a comunidade científica começar a informar a população que não é possível a previsão dos sismos, assim como, no presente estado do conhecimento da sismologia, também ainda não é inteiramente viável diferenciar, com elevado grau de certeza, quais os níveis de risco sísmico de uma região em particular. Defendeu ainda que os cientistas devem comunicar às populações, e aos respetivos governos, que se preparem para o inesperado, e que continuem a dar o seu melhor para divulgar o que a ciência realmente sabe sobre o assunto e o que ainda é desconhecido ou incerto.

Alguns autores propuseram a ideia de que a resiliência sísmica apresenta quatro dimensões distintas: a técnica (ligada à forma como os sistemas físicos, tais como as estruturas das escolas, resistem aos efeitos dos sismos), a organizacional (ligada à capacidade das autoridades responsáveis por melhorar a resiliência antes da ocorrência dos sismos, assim como de organizar a resposta após a ocorrência de um sismo por exemplo através da proteção civil), a social (as medidas tomadas para mitigar os impactos dos sismos nas populações e nas entidades governativas), e a económica (a capacidade de reduzir, tanto os custos diretos, como os custos indiretos associados à ocorrência de um sismo) (Booth, 2018).

Assim, parece ser evidente a importância de promover a educação e informação das populações, a par da investigação sobre o comportamento sísmico das construções e da criação de ferramentas para a proteção civil, de modo a contribuir para o aumento da resiliência das sociedades a estes fenómenos naturais, sendo o contexto escolar um importante veículo para atingir estes objetivos. Por outro lado, os edifícios das escolas também poderão sofrer os efeitos da ocorrência de sismos. Face à elevada concentração de crianças e jovens que as escolas apresentam, e considerando que é lá que passam mais de 50% do seu tempo, as consequências de qualquer falha estrutural e não estrutural poderão ser fatais para essas crianças e jovens e respetiva família, para as comunidades, e para os países, por perderem parte do futuro das nações, as crianças e os jovens. Em Portugal, cerca de um milhão e meio de crianças frequentam a escola ou a creche todos os dias. Na região do Algarve este valor é de cerca de 18 mil crianças a frequentar o 1.º ciclo e de 11500 crianças no ensino pré-escolar (a partir dos 3 anos de idade) (DGEEC e DSEE, 2017).

Neste contexto, no projeto PERSISTAH foram desenvolvidos instrumentos para aumentar a resiliência sísmica da população estudantil, designadamente através do Projeto Educativo “Porque é que o chão se move?”,

com atividades e material pedagógico para a educação e comunicação do risco sísmico, e o “Guia Prático da Escola Resiliente aos Sismos”, que visa, entre outros objetivos, a implementação de medidas de redução do risco sísmico não estrutural. Estes dois instrumentos poderão ser replicados a todos os equipamentos de ensino independentemente do nível de escolaridade, e em qualquer ponto do país, possibilitando assim o aumento da resiliência sísmica da comunidade escolar.

Além disso, o projeto PERSISTAH permitiu perceber quais as reais dificuldades associadas à avaliação, mitigação e comunicação do risco sísmico, cujos ensinamentos são descritos no presente trabalho, chamando à atenção para a necessidade de as sociedades darem maior ênfase à mitigação dos efeitos resultantes dos sismos, pois só assim poderemos viver de forma mais segura.

### **Caracterização das escolas do 1.º ciclo do ensino básico existentes no Algarve**

Os edifícios escolares podem apresentar sistemas estruturais distintos, que são, normalmente, função da época da construção, condicionada pelas regras impostas pelos regulamentos existentes então, ou devido às opções técnicas dos autores dos projetos de construção. No conjunto das escolas do primeiro ciclo do ensino básico existentes no Algarve foi possível constatar a existência de edifícios em alvenaria estrutural tradicional, muitas delas construídas ainda antes da primeira regulamentação de segurança contra sismos de 1958 (RSCCS, 1958). Esta regulamentação foi rapidamente revista, com a publicação de um outro regulamento (RSEP, 1961), que foi muito influenciado pela ocorrência do sismo de Agadir (Marrocos) em 29 de fevereiro de 1960, uma vez que muitos dos edifícios afetados foram construídos por portugueses, muitos deles originários do Algarve. Em 1983, foi publicado um novo regulamento (RSAEEP, 1983), onde já foram propostos métodos de análise dinâmica modernos, com vista ao dimensionamento sísmico das estruturas, entretanto substituído pela Parte 1 (IPQ, 2010a) do Eurocódigo 8 (EC8-1), para edifícios novos, e pelo EC8-3 para os edifícios existentes.

#### *Construções de alvenaria tradicional*

Dos edifícios escolares existentes no Algarve, os mais vulneráveis são as escolas mais antigas, ainda construídas em alvenaria tradicional e normalmente constituídos por pedra calcária da região. Também é possível encontrar construções em arenito argiloso, vulgarmente designado por grés de Silves, ou em xisto, com uma argamassa de fraca resistência feita, normalmente, à base de cal e areia. Nestas construções destaca-se um conjunto de projetos-tipo desenvolvidos para o Algarve por diversos

arquitetos (Ribeiro, 2016), antes da existência do primeiro código sísmico, datado de 1958, tais como: os edifícios do Raul Lino (fot. 1-a) da década de 1930; os edifícios do Alberto Braga de Sousa (fot. 1-b-c), da década de 1940; e os edifícios do Fernando Peres (fot. 1-d), da década de 1950. Uma vez que foi possível encontrar os projetos de arquitetura da maior parte das escolas destas épocas, assim como os documentos relativos aos aspetos técnicos da execução, foi possível a realização das análises estruturais da generalidade dos edifícios destas tipologias ainda em funcionamento no Algarve como escolas do 1.º ciclo do ensino básico. Em relação aos edifícios da última tipologia referida, foi possível observar a existência de alguns elementos estruturais verticais em betão armado em algumas escolas, o que torna mais complexa a tipificação da resposta sísmica. Quanto aos projetos das estruturas, lamentavelmente foram apenas encontradas peças escritas com referência às características dos materiais a utilizar e aos procedimentos construtivos a adotar.

A escola reforçada no Algarve no contexto do projeto PERSISTAH (Estêvão *et al.*, 2021), foi a Escola EB1 de Brancanes (fot. 1-d), pertencente ao município de Olhão.

#### *Construções de betão armado*

A fase de construção de escolas da década de 1970 ainda adotou a filosofia dos projetos-tipo. Contudo, estas escolas já possuem estrutura em betão armado e foram projetadas de acordo com a regulamentação em vigor nessa altura (REBA, 1967), cujos pormenores construtivos não tinham em atenção as características particulares dos efeitos dos sismos. Em relação aos edifícios desta época construídos no Algarve, somente foi possível encontrar as peças desenhadas referentes a um único projeto da estrutura. Com esta informação, foi possível identificar um défice de resistência ao corte (Tomás *et al.*, 2019). Este tipo de problema também foi identificado nas escolas P3, que são uma tipologia muito frequente no Algarve (fot. 2), mas, infelizmente, em relação a estas escolas apenas foram encontrados os projetos de arquitetura, e não os da estrutura. Como estes edifícios foram construídos com betão à vista, foi possível identificar a localização das armaduras e das propriedades mecânicas dos materiais, através da realização de ensaios *in situ* não destrutivos, e assim a obter as respetivas curvas de capacidade (Estêvão e Esteves, 2020). Na regulamentação publicada em 1983 (REBAPE, 1983), referente ao dimensionamento dos elementos estruturais de betão armado, surgiram regras destinadas a aumentar a ductilidade e a capacidade de dissipação de energia dos edifícios de betão armado (de ductilidade melhorada). Contudo, na generalidade dos projetos dessa época, não eram adotadas essas regras de ductilidade melhorada, mas unicamente as de ductilidade normal, tal como foi possível constatar nos ensaios

realizados *in situ*. Os edifícios das escolas mais modernas já não foram construídos com recurso a projetos-tipo, pelo que cada escola apresenta características muito individualizadas. Foi possível obter os projetos integrais de algumas dessas escolas, para as quais foram testadas soluções de reforço, dado não atingirem os níveis de segurança que são atualmente estipulados no EC8-3 (Barreto e Estêvão, 2020).

#### **Efeitos dos sismos nas escolas**

O último sismo a afetar as escolas existentes no Algarve ocorreu a 28 de fevereiro de 1969, pelo que a atual população estudantil não tem presente na memória quais poderão ser as consequências para as escolas da ocorrência de um sismo intenso. Neste sismo de 1969 ficou evidente o efeito das características geológicas no nível de vibração sísmica a que as construções são sujeitas. Escolas com o mesmo projeto de arquitetura (do arquiteto Alberto Braga de Sousa) e sistema estrutural, apresentaram muito mais danos quando estavam localizadas em terrenos aluvionares mais brandos, em comparação com as localizadas em rocha (Marécos e Castanheta, 1970). Assim, é importante considerarmos a história da evolução dos aglomerados habitacionais, pois é um fator que influencia o risco sísmico das construções, como foi observado em Itália (Augenti *et al.*, 2004). Os centros históricos mais antigos estão muitas vezes localizados em zonas mais elevadas porque assim estavam mais facilmente defendidos dos inimigos, pelo que podem corresponder a terrenos mais rígidos, eventualmente até a afloramentos rochosos. Contudo, à medida que as necessidades de defesa foram diminuindo e que se verificou um aumento demográfico, tornou-se vulgar, em Portugal, o aparecimento de novas localidades em zonas mais baixas e acessíveis, muitas vezes em terrenos aluvionares localizados na proximidade de linhas de água. Noutras vezes, foi o crescimento das áreas urbanas em torno dos centros históricos que levou à ocupação de terrenos mais brandos e propensos a amplificarem as vibrações sísmicas. Esta questão é especialmente importante para o parque escolar, pois os edifícios escolares foram, muitas vezes, edificados em terrenos ainda por urbanizar, com características geológicas que os tornam mais suscetíveis de amplificarem as vibrações sísmicas, agravando assim o seu risco sísmico.

Um outro problema relacionado com a implantação das escolas tem a ver com a possibilidade de estas poderem estarem localizadas sobre falhas ativas. Uma rotura superficial poderá originar o colapso das escolas, como já aconteceu em outros países afetados por sismos com este tipo de características (Angelier *et al.*, 2003).

Como foi referido, o facto de não terem existido muitos sismos a afetar severamente Portugal continental nas últimas décadas, conduz ao esquecimento de que o Algarve já foi sujeito a importantes crises sísmicas no passado, como





**Fot. 1** - Exemplo de algumas escolas de alvenaria tradicional existentes no Algarve, projetadas por diferentes arquitetos:  
a) Raul Lino; b-c) Alberto Braga de Sousa; d) Fernando Peres (Fotografias de João Estêvão, tiradas a) 2017/12/16, b) 2018/05/01,  
c) 2018/04/28 e d) 2019/04/08).

*Photo 1 - Example of some traditional masonry schools in the Algarve, designed by different architects:  
a) Raul Lino; b-c) Alberto Braga de Sousa; d) Fernando Peres.  
(Photographs of João Estêvão, taken at 2017/12/16, b) 2018/05/01, c) 2018/04/28 and d) 2019/04/08).*



**Fot. 2** - Exemplo de algumas escolas P3 existentes no Algarve:  
a) Silves; b) Marmeleite, Monchique; c) Faro; e d) Portimão (Fonte: Estêvão e Esteves, 2020).

*Photo 2 - Example of some P3 schools in the Algarve:  
a) Silves; b) Marmeleite, Monchique; c) Faro; d) Portimão (Source: Estêvão and Esteves, 2020).*

as ocorridas no século XVIII, designadamente associadas aos sismos de 1719, de 1722, e de 1755. Este último com um enorme impacto destrutivo na região (Chester & Chester, 2010) que deve ser relembado. Estudos recentes têm evidenciado que o Algarve é a região de Portugal continental

onde foram observadas as maiores intensidades sísmicas (Teves-Costa *et al.*, 2019), pelo que importa entender quais poderão ser as reais consequências na comunidade escolar da ocorrência de um sismo que afete novamente a região, tal como já aconteceu no passado, reiteradamente.

*Efeitos nos edifícios*

166

As escolas têm características arquitetónicas específicas, por questões de funcionalidade e organização do espaço, que as podem tornar particularmente vulneráveis aos efeitos das vibrações induzidas pela ocorrência dos sismos, o que explica o elevado número de danos que tem sido observados neste tipo de edifícios a nível mundial (Rodgers, 2012).

Os danos que tipicamente foram observados em escolas de alvenaria estrutural, normalmente resultaram da falha das ligações entre os pisos e as paredes (Korkmaz *et al.*, 2018), do aparecimento de mecanismos de rotura locais nos nêmbos (Korkmaz *et al.*, 2018), que são as zonas das paredes de alvenaria compreendidas entre as aberturas associadas aos vãos das portas e janelas, e da falha das ligações entre paredes ortogonais (Korkmaz *et al.*, 2018), o que também facilita o colapso das paredes para fora do plano (Giordano *et al.*, 2020).

Um outro problema relacionado com os edifícios de alvenaria tradicional está relacionado com as alterações a que estes edifícios foram sendo sujeitos ao longo dos anos. Isso ficou evidente após o sismo de Molise (Itália) de 2002, que levou ao colapso de uma escola em San Giuliano di Puglia, e à consequente morte de 27 crianças e de um professor (O'Reilly *et al.*, 2018). Inicialmente, em 1953, essa escola tinha somente um piso. Mais tarde, na década de 1970, foi adicionado um outro andar, com uma laje de betão armado. Em 2002, foram adicionadas mais divisões, sem qualquer reforço sísmico, tendo a escola colapsado seis meses depois, aquando da ocorrência do sismo (Augenti *et al.*, 2004). Infelizmente, foram identificadas situações deste tipo em várias escolas de alvenaria existentes no Algarve. Algumas delas até foram reabilitadas muito recentemente, mas somente com melhoria do comportamento térmico, funcional e estético, sem qualquer reforço sísmico e, em alguns casos, até com diminuição da segurança sísmica inicial, o que é preocupante. Numa dessas escolas de alvenaria tradicional existentes no Algarve (das tipologias do arquiteto Alberto Braga de Sousa) foi possível verificar que, anos mais tarde após a construção inicial, foi construído um novo andar com estrutura de betão armado (fot. 3). Tendo em conta o sucedido em Molise, acima descrito, as autoridades nacionais com responsabilidades no parque escolar do ensino básico devem estar alerta para este tipo de situação.

Nos edifícios de estrutura de betão armado um dos principais problemas é a existência de pilares curtos (Chen *et al.*, 2017; Kabeyasawa, 2017). Esta designação está normalmente associada ao reduzido comprimento deformável do pilar. Essa restrição pode resultar da existência de outros elementos em betão armado ligados aos pilares (normalmente fracamente armados, como



Fot. 3 - Exemplo de um edifício escolar existente no Algarve (Vila do Bispo), onde é visível uma ampliação: (a) piso térreo original em alvenaria tradicional e (b) ampliação com estrutura de betão armado (Fotografia de João Estêvão, tirada a 2019/02/28).

*Photo 3 - Example of a school building in the Algarve (Vila do Bispo), where an extension can be seen: (a) original ground floor in traditional masonry; (b) extension with reinforced concrete structure (Photography of João Estêvão, taken at 2019/02/28).*

guarda-corpos), ou de paredes de alvenaria de enchimento com aberturas para vãos de janelas. Para a mesma secção transversal de pilar, e igual momento resistente à flexão, os esforços de corte são muito maiores em pilares curtos. Nestas circunstâncias, se o comprimento deformável do pilar for reduzido para metade, os esforços de corte irão passar para o dobro. Além disso, dado que estes pilares também apresentam um aumento da rigidez, com consequente aumento dos esforços de flexão e corte, então é notório o agravamento da vulnerabilidade sísmica desses elementos estruturais. Os pilares curtos são particularmente vulgares em construções escolares, devido à existência de janelas pouco altas, mas muito largas, muitas vezes de pilar a pilar (fot. 4-a).

A existência de pisos parcialmente vazados também tem sido um fator a originar muitos danos em escolas (Chen *et al.*, 2017; Kabeyasawa, 2017). Nestes casos, os danos não estão associados ao corte dos pilares, mas sim a esforços de flexão, que tendem a originar a formação de rótulas plásticas na base e no topo dos pilares. O problema resulta do facto das paredes de alvenaria de enchimento (não estrutural), existente nos pisos mais elevados, aumentarem a rigidez e a resistência dessas zonas dos edifícios, tornando o piso térreo mais flexível e originando o aumento dos esforços de flexão na base e no topo dos pilares do piso vazado, que podem não possuir o acréscimo de resistência que seria necessário nestas situações. Também foi possível observar esse tipo de situação em edifícios escolares existentes no Algarve (fot. 4-b).



Ainda outro problema que pode agravar os danos sísmicos nas escolas de estrutura em betão armado está relacionado com as irregularidades arquitetónicas em planta, que podem contribuir para o aparecimento de efeitos de torção que são indesejados nos edifícios, o que poderá ser agravado pela existência de pilares curtos e/ou de pisos vazados (Kabeyasawa, 2017).



**Fot. 4** - Exemplo de um edifício escolar existente no Algarve (Tunes), com estrutura em betão armado possuindo, simultaneamente, (a) pilares curtos e (b) um piso térreo vazado (Fotografia de João Estêvão, tirada a 2018/05/01).

**Photo 4** - Example of school building in the Algarve (Tunes), with reinforced concrete structure having, at the same time: (a) short columns; (b) soft ground storey (Photography of João Estêvão, taken at 2018/05/01).

Os problemas acima referidos não significam, necessariamente, que os edifícios de betão armado que os apresentam são inseguros do ponto de vista sísmico, pois as estruturas desses edifícios podem ter sido projetadas permitindo que esses problemas sejam ultrapassados. Contudo, é importante salientar que só o EC8-1 é que estabelece regras de dimensionamento específicas para as situações referidas, pelo que os projetos das estruturas das construções escolares mais antigas não deverão ter tido em atenção essas questões, o que poderá condicionar o futuro desempenho sísmico desses edifícios.

A existência de insuficientes quantidades de armaduras, aliadas à utilização de betão de má qualidade e deficientes ligações entre elementos estruturais, poderão ser outra causa importante para a existência de danos nas escolas com estrutura em betão armado (Oyguc, 2016).

#### *Efeitos na comunidade estudantil*

Depois de um sismo que tenha gerado elevados níveis de vibração, o retorno gradual e lento às habitações ou localidades mais danificadas dependerá das obras ao nível das infraestruturas (gás e água, por exemplo), das vias de comunicação e obras de arte, do património e do edificado em geral, dependendo da resiliência e da capacidade de resposta de cada país. Durante esse período ocorre uma desagregação social forçada e o retorno à normalidade é de difícil previsão. Como consequência de um sismo, a perda de habitação, ou a interrupção das funções e atividades que definem a vivência urbana obrigam a um realojamento

da população para outras localidades. Em alguns casos, esta realocação pode ter carácter definitivo, causando um grande impacto nas crianças, tanto a nível psicológico, como no rendimento escolar, por serem, como acontece em muitos casos, separadas dos seus familiares, para retomarem o ensino noutras localidades (Ferreira, 2012; Ferreira, 2009). As crianças, dada a sua maior vulnerabilidade, apresentam traumas emocionais e psicológicos resultantes da perda, do medo e da separação da família. Quanto mais cedo as rotinas retomarem, melhor (Zeng e Bordeaux Silverstein, 2011), e para as crianças o regresso à escola ajuda na recuperação pós-desastre (contribuindo para reduzir a angústia e a ansiedade), visto que estão junto dos colegas que passaram pelo mesmo trauma. Encontrar apoio nos seus pares, expressar os seus sentimentos por meio de atividades criativas e manter rotinas normais são formas a que as escolas podem recorrer para apoiarem a reintrodução das crianças na vida escolar, fazendo com que os sintomas de angústia, medo e ansiedade diminuam com o tempo (Mutch, 2015).

#### **Avaliação do comportamento sísmico**

De acordo com o EC8-1, o dimensionamento sísmico das estruturas deverá ser realizado para duas ações sísmicas tipo. A ação sísmica tipo 1 corresponde a um cenário de ocorrência de um sismo com rotura afastada que, no contexto do Algarve, corresponde a um sismo localizado no mar. A ação sísmica tipo 2 corresponde a um sismo de menor magnitude, mas com a rotura mais próxima da construção. No contexto do Algarve, esta situação corresponde a um sismo localizado numa das falhas ativas existentes na região.

Em relação aos edifícios escolares existentes (de classe de importância III), e no atual contexto do EC8-3, será necessário fazer a verificação da segurança sísmica para três Estados Limites (EL): o EL de colapso iminente (NC); o EL de danos severos (SD); e o EL de limitação de danos (DL). Isto pode parecer confuso para a população em geral. Na realidade, associado a cada EL está estipulado um determinado grau de dano para um determinado nível de vibração sísmica, que corresponde a um determinado período de retorno  $T_R$  (um conceito probabilístico que corresponde ao valor inverso da probabilidade anual desse nível de ação vir a ser excedido). Assim, simplificadamente, poderemos dizer que a cada EL irá corresponder um sismo de diferente magnitude (com maior ou menor probabilidade de ocorrência), e, em função disso, que poderá originar danos progressivamente mais graves (danos ligeiros para DL; danos severos para SD; e danos próximos do colapso para NC, com elementos estruturais severamente danificados e com reduzidas resistência e rigidez laterais, tendo já colapsado a generalidade dos elementos não estruturais).

Ao contrário das escolas, para os edifícios correntes existentes (de classe de importância II) basta verificar a segurança em relação ao estado limite SD, sendo considerado no EC8-3 que isso corresponde a uma situação em que a “estrutura apresenta danos significativos”, que “os elementos não-estruturais apresentam danos, se bem que as divisórias e os elementos de enchimento não tenham sofrido rotura para fora do plano”, e que uma “reparação da estrutura não é, provavelmente, económica”. Isto não corresponde ao que a população, de uma forma geral, espera do desempenho sísmico de um edifício. Na realidade, o projeto sísmico corrente não visa a salvaguarda do imóvel para sismos muito intensos, mas somente a salvaguarda da vida humana. Só para o estado limite DL é que se pretende salvaguardar o património construído, o que corresponde à ocorrência de sismos de menores magnitudes, mas mais frequentes. Fazendo o paralelismo com a indústria automóvel, também ninguém espera que, em caso de acidente rodoviário grave, os veículos sinistrados fiquem ilesos. Já serão consideradas como um sucesso as situações em que os ocupantes não têm ferimentos graves ou não perdem a vida.

O projeto sísmico de estruturas modernas apresenta princípios de conceção semelhantes aos dos veículos automóveis. Ao contrário do passado, atualmente os automóveis estão preparados para dissipar energia em caso de impacto (Vangi, 2009), reduzindo o nível de aceleração a que o corpo humano estará sujeito, o que permite salvar vidas. Hoje, as estruturas dos carros estão preparadas para deformarem rapidamente em regime plástico (possuindo ductilidade), sendo a resistência e a rigidez aumentadas somente na zona do habitáculo. Além disso, são adicionados dispositivos adicionais de dissipação de energia, como os cintos de segurança e os *airbags*. Esta mesma filosofia é aplicada ao projeto sísmico de edifícios modernos, onde se tira partido do comportamento não linear dúctil das vigas para dissipar energia (que funcionam como as zonas de deformação por impacto dos automóveis, e que, do mesmo modo, também irão, inevitavelmente, apresentar danos). Para que isto aconteça, a resistência dos pilares deve ser aumentada, em comparação com a resistência das vigas, de forma a assegurar a formação de rótulas plásticas nas extremidades das vigas. Isto funciona de modo equivalente ao aumento da resistência dos habitáculos dos automóveis. Para que a dissipação de energia ocorra em caso de sismo é necessário que a estrutura deforme em regime inelástico (sem recuperação total da deformação e com eventuais danos severos permanentes), sem que ocorram roturas por corte (e por isso é necessário assegurar que a resistência ao corte dos elementos estruturais é sempre superior à correspondente resistência à flexão). Estes princípios de dimensionamento sísmico, atualmente designados por métodos de cálculo pela capacidade real (“*capacity design*”),

já estavam presentes na regulamentação de 1983, mas nunca foram adotados no projeto corrente de edifícios, nomeadamente nas escolas. A atual regulamentação sísmica, o EC8-1 (IPQ, 2010a), já exige a adoção destes princípios de dimensionamento para todos os edifícios (incluindo as construções escolares) que venham a ser construídos no futuro, no Algarve.

Os períodos de retorno estipulados no Anexo Nacional ao EC8-3 (IPQ, 2017) para edifícios existentes do tipo corrente, atualmente correspondem a 73, 308 e 975 anos, respetivamente para DL, SD e NC, o que, em princípio, irá corresponder a eventos sísmicos de magnitudes progressivamente maiores.

Em relação às escolas, a ação sísmica estipulada na atual regulamentação (IPQ, 2010a) é aumentada através de um coeficiente de importância (inexistente nas regulamentações anteriores), atendendo às possíveis consequências associadas a um possível colapso deste tipo de construções, o que origina o agravamento dos períodos de retorno atrás mencionados para cerca de 127, 538 e 1703 anos (de acordo com as expressões simplificadas do EC8-1), respetivamente para DL, SD e NC. Ou seja, para um sismo de determinada magnitude, é exigido que as escolas tenham um melhor comportamento sísmico, considerando a elevada concentração de pessoas que nelas permanecem, pelo que estamos a reduzir o nível de danos considerado como sendo aceitável para este tipo de edifícios, em comparação com os edifícios correntes. Isto é especialmente importante para o estado limite NC, pois as escolas terão de apresentar o mesmo desempenho estrutural, mas para sismos de magnitudes muito superiores, que os edifícios correntes (pois a magnitude de um sismo associada a um período de retorno de 1703 anos é bastante superior à magnitude de um sismo associado a um período de retorno de 975 anos).

O programa informático desenvolvido (fig. 1) no contexto do projeto PERSISTAH (Estêvão, 2019) permite efetuar a verificação da segurança sísmica de escolas com base em análises estáticas não lineares. Para tal, é necessário determinar as curvas de capacidade dos edifícios (a relação entre a força de corte na base e o deslocamento no topo dos edifícios) recorrendo a programas de análise estrutural que permitem reproduzir o comportamento não linear dos materiais. Assim, é possível obter os níveis de segurança de um elevado número de escolas, com base nos métodos estipulados no EC8-3, fazendo depois a hierarquização dessa segurança (um School-score). É também possível exportar os resultados georreferenciados para o Google Earth, através da criação automática de um ficheiro em formato kml. O nível de segurança pode ser quantificado com base nas ações sísmicas que constam na atual regulamentação, ou com base em cenários de ocorrência de sismos, que são especialmente importantes para efeitos da proteção civil e para a comunicação do risco às populações.

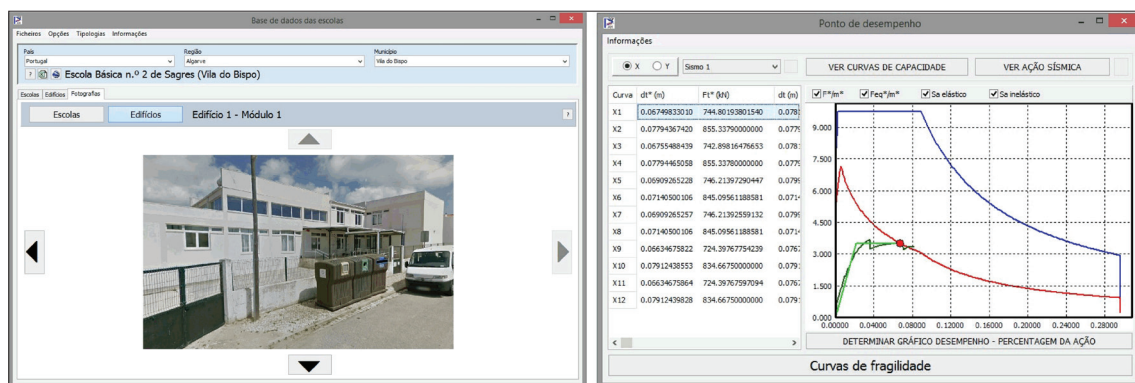


Fig. 1 - Exemplos de janelas do programa informático desenvolvido (base de dados das escolas e ponto de desempenho).

Fig. 1 - Examples of windows of the developed software (schools database and performance point).

Para se perceber melhor as vantagens do programa informático desenvolvido (que será de utilização livre a partir do endereço: <https://sway.office.com/UZLStBm6DvZfNlt3>), foram considerados neste trabalho diversos cenários de ocorrência de sismos, para que a ação sísmica na escola mais próxima à rotura (a Escola EB2 de Sagres) corresponda ao nível de aceleração estipulado no EC8-3, para os períodos de retorno associados aos estados limites DL, SD e NC, anteriormente referidos. Para esse efeito, foram considerados planos de rotura retangulares (Estêvão, 2019), e foram adotadas leis de atenuação que foram desenvolvidas com base em registos de sismos ocorridos na Europa (Ambraseys *et al.*, 2005).

Foram considerados três cenários para os dois tipos de sismo (sismo afastado tipo 1, e sismo próximo tipo 2), cujas magnitudes estão apresentadas (QUADRO I). Estas magnitudes não resultaram de um estudo de perigosidade sísmica, mas sim de um processo de ajuste, por tentativa e erro, e são consistentes com os valores apresentados no Anexo NA.I da Parte 5 do EC8 (IPQ, 2010b). As fontes sísmicas que foram consideradas para os cenários de sismos afastados correspondem à zona do Canhão de São Vicente, localizada no mar, que corresponde a uma zona ativa onde tem ocorrido um elevado número de sismos (Silva *et al.*, 2017). Quanto aos cenários de sismos próximos, as roturas foram localizadas em falhas existentes em documentos oficiais sobre o risco sísmico do Algarve (MAOTDR, 2004, 2007), situadas nas proximidades do local de implantação da Escola Básica n.º 2 de Sagres

(a escola básica mais a Sudoeste da Península Ibérica). A localização da rotura foi ajustada para que as acelerações obtidas fossem iguais às estabelecidas nos EC8-1 e EC8-3 para um terreno tipo A, de modo a facilitar a perceção da plausibilidade dos cenários considerados. Os resultados foram exportados para o Google Earth (figs. 2 à 7).

Foi usada a menor distância ao plano da rotura ( $R_r$ ), em vez da menor distância à projeção da rotura na superfície. Importa realçar que a lei de atenuação adotada só está validada para magnitudes até  $M=7.6$ , pelo que os valores obtidos para a magnitude  $M=8.9$  são pouco fiáveis, embora permitam ter uma ideia das possíveis consequências de um sismo de tão grande magnitude.

Como é possível observar (QUADRO I), os valores de aceleração de cálculo estabelecidos no EC8-3 para os diversos EL, não diferem muito entre os sismos tipo 1 e tipo 2 para DL. Já para o estado limite NC, a diferença é muito significativa, o que é consistente com a sismicidade registada na envolvente ao Algarve, designadamente tendo em conta as possíveis fontes de geração de sismos que são conhecidas, tornando muito desafiante a verificação da segurança de estruturas existentes para este nível de aceleração. Os resultados obtidos nas muitas análises não lineares que foram realizadas para o Algarve no contexto do projeto PERSISTAH, sugerem que a única forma de ser possível a verificação da segurança em relação a este EL, será recorrer ao método de cálculo pela capacidade real ("capacity design"), pois só assim será possível garantir a hierarquização de resistências

QUADRO I - Magnitudes ( $M$ ), menor distância à rotura ( $R_r$  em km), e acelerações ( $a_g$  em  $m/s^2$ ) dos sismos considerados nos seis cenários estabelecidos para os diversos sismos tipo e estados limites (terreno tipo A).

TABLE I - Magnitudes ( $M$ ), shortest distance to the rupture ( $R_r$  in km), and accelerations ( $a_g$  in  $m/s^2$ ) of the earthquakes considered in the six scenarios established for the different earthquakes and limit states (ground type A).

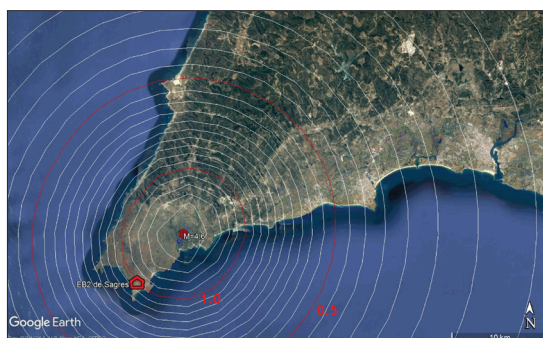
	DL ( $T_R = 127$ anos)	SD ( $T_R = 538$ anos)	NC ( $T_R = 1703$ anos)
Sismo afastado (tipo 1)	$M = 6,6$	$M = 7,6$	$M = 8,9$
Falha inversa	$R_r = 31,228$ $a_g = 0,29 \times 1,45 \times 2,5 = 1,051$	$R_r = 24,226$ $a_g = 0,75 \times 1,45 \times 2,5 = 2,719$	$R_r = 34,196$ $a_g = 1,62 \times 1,45 \times 2,5 = 5,872$
Sismo próximo (tipo 2)	$M = 4,6$	$M = 5,2$	$M = 6,0$
Falha de deslizamento	$R_r = 10,152$ $a_g = 0,47 \times 1,25 \times 1,7 = 0,999$	$R_r = 7,197$ $a_g = 0,84 \times 1,25 \times 1,7 = 1,785$	$R_r = 5,637$ $a_g = 1,33 \times 1,25 \times 1,7 = 2,826$





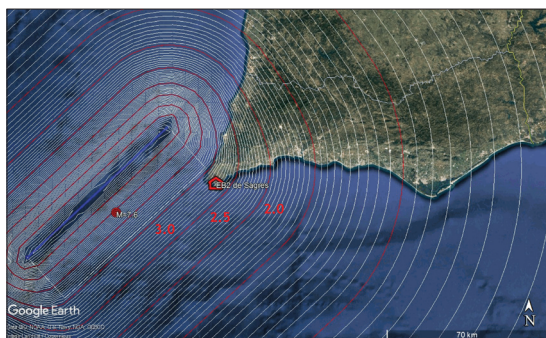
**Fig. 2** - Mapa de isolinhas de aceleração de pico ( $m/s^2$ ) obtidas em terrenos tipo A para um cenário de sismo afastado (tipo 1) com  $M=6,6$  (estado limite DL).

*Fig. 2 - Isoline map of peak acceleration ( $m/s^2$ ) obtained in ground type A for the far-field earthquake scenario (type 1) with  $M=6,6$  (limit state DL).*



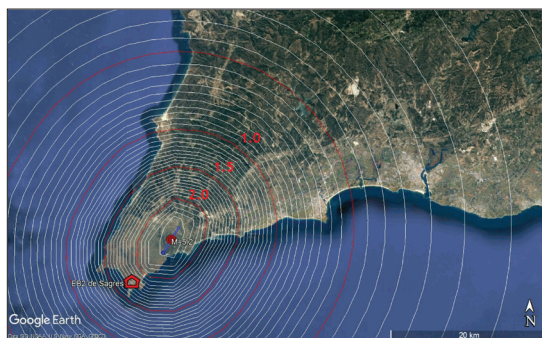
**Fig. 5** - Mapa de isolinhas de aceleração de pico ( $m/s^2$ ) obtidas em terrenos tipo A para um cenário de sismo próximo (tipo 2) com  $M=4,6$  (estado limite DL).

*Fig. 5 - Isoline map of peak acceleration ( $m/s^2$ ) obtained in ground type A for the near-field earthquake scenario (type 2) with  $M=4,6$  (limit state DL).*



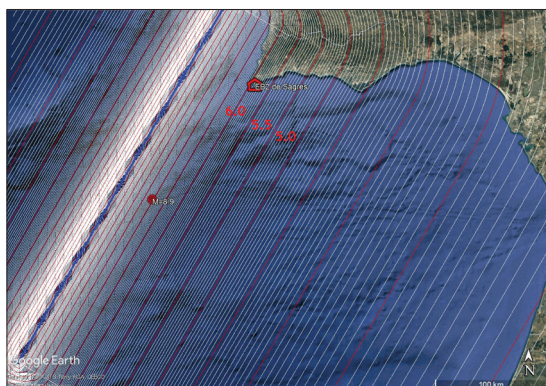
**Fig. 3** - Mapa de isolinhas de aceleração de pico ( $m/s^2$ ) obtidas em terrenos tipo A para um cenário de sismo afastado (tipo 1) com  $M=7,6$  (estado limite SD).

*Fig. 3 - Isoline map of peak acceleration ( $m/s^2$ ) obtained in ground type A for the far-field earthquake scenario (type 1) with  $M=7,6$  (limit state SD).*



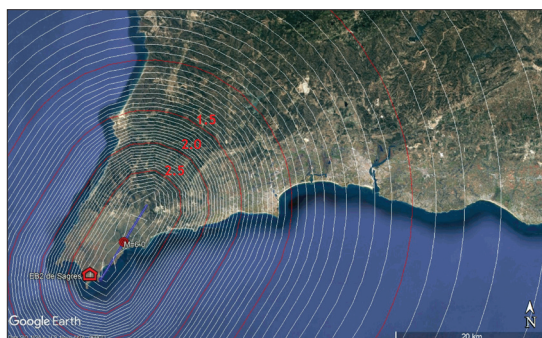
**Fig. 6** - Mapa de isolinhas de aceleração de pico ( $m/s^2$ ) obtidas em terrenos tipo A para um cenário de sismo próximo (tipo 2) com  $M=5,2$  (estado limite SD).

*Fig. 6 - Isoline map of peak acceleration ( $m/s^2$ ) obtained in ground type A for the near-field earthquake scenario (type 2) with  $M=5,2$  (limit state SD).*



**Fig. 4** - Mapa de isolinhas de aceleração de pico ( $m/s^2$ ) obtidas em terrenos tipo A para um cenário de sismo afastado (tipo 1) com  $M=8,9$  (estado limite NC).

*Fig. 4 - Isoline map of peak acceleration ( $m/s^2$ ) obtained in ground type A for the far-field earthquake scenario (type 1) with  $M=8,9$  (limit state NC).*



**Fig. 7** - Mapa de isolinhas de aceleração de pico ( $m/s^2$ ) obtidas em terrenos tipo A para um cenário de sismo próximo (tipo 2) com  $M=6,0$  (estado limite NC).

*Fig. 7 - Isoline map of peak acceleration obtained in ground type A for the near-field earthquake scenario (type 2) with  $M=6,0$  (limit state NC).*

que suportam os níveis de ductilidade necessários para que a estrutura resista a tão elevados níveis de aceleração de pico sem ocorrência de colapso.

Para termos uma noção do nível de adequação dos resultados da lei de atenuação adotada, foi feita uma comparação entre os resultados dos espectros de resposta obtidos com base nesta lei, e os espectros de resposta dos registos do sismo ocorrido em 17 de dezembro de 2009 (com fonte na zona do Canhão de São Vicente), que corresponde ao sismo onde foram registadas as maiores acelerações de pico até ao momento no Algarve (desde que existem registos na região), num terreno tipo B, localizado em Portimão (Estêvão e Oliveira, 2010). É possível concluir que os valores de aceleração de pico (para o período  $T = 0$  s) dos registos são próximos dos resultados obtidos com a lei de atenuação, mas ligeiramente superiores, o que já não acontece para os períodos mais altos, onde os registos apresentam valores muito inferiores (fig. 8). Dadas as capacidades e as limitações evidenciadas pela lei de atenuação utilizada, podemos afirmar que muito embora os cenários estabelecidos pareçam ser plausíveis para Sagres, é observada uma grande atenuação das vibrações sísmicas para os cenários de sismos afastados, o que torna mais difícil reproduzir os níveis de aceleração estipulados no EC8-1 e EC8-3 para a zona de fronteira com Espanha.

A Escola Básica n.º 2 de Sagres, que foi usada como ponto de referência deste estudo, corresponde a uma escola da tipologia P3 para as quais foram determinadas as

curvas de capacidade dos diversos módulos estruturais que compõem os edifícios deste tipo de escola (Estêvão e Esteves, 2020). Os resultados demonstram que não é possível assegurar os níveis de segurança que estão estipulados no EC8-3, principalmente para o sismo tipo 1 (afastado). Contudo, importa salientar que não foram incluídas as paredes de alvenaria de enchimento (não estruturais) nos modelos, que tanto podem ter efeitos positivos (melhorando a resistência sísmica), como podem ter efeitos muito negativos (originando pilares curtos e pisos vazados). Os efeitos positivos das paredes de enchimento (as paredes exteriores e as paredes divisórias de alvenaria de tijolo cerâmico furado, não estrutural), normalmente só ocorrem para níveis de vibração sísmica relativamente baixos. Por outro lado, um fator que poderá piorar o desempenho sísmico destas escolas P3, é o possível impacto entre os diversos módulos independentes que constituem os edifícios, considerando a pequena dimensão das juntas existentes entre eles. Em relação às escolas de alvenaria tradicional, que ainda estão em funcionamento no Algarve, ficou evidente, no estudo realizado no âmbito do projeto PERSISTAH, que estas também não apresentam a capacidade sismorresistente atualmente exigida no EC8-3 (Estêvão e Tomás, 2021).

Neste contexto, é importante que as intervenções de remodelação realizadas em escolas existentes no Algarve contemplem o estudo da sua segurança sísmica, e que sejam realizados projetos de reforço sísmico, se necessário.

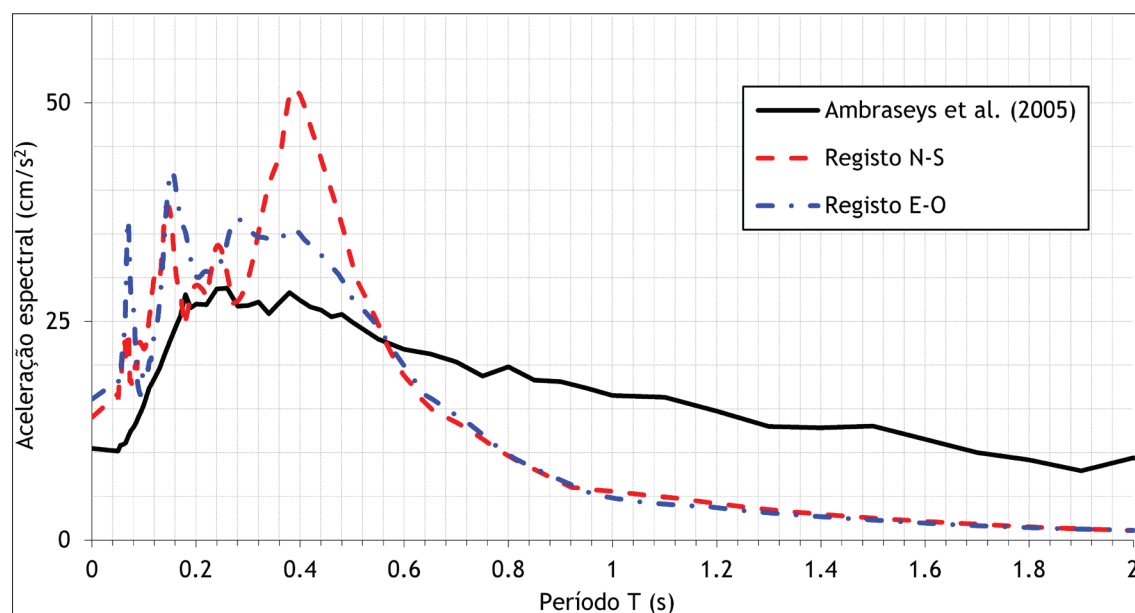


Fig. 8 - Comparação entre os resultados dos espectros de resposta obtidos com a lei de atenuação adotada, e os resultados dos registos do sismo de 2009/12/17, obtidos em Portimão num terreno tipo B.

Fig. 8 - Response spectra comparison between the results obtained with the adopted attenuation law and the results of the records of the 2009/12/17 earthquake, obtained in Portimão on a ground type B site.

## Educação e comunicação sobre risco sísmico

Comunicar ciência de forma simples e clara para os diferentes públicos é sempre um grande desafio. Os engenheiros têm, muitas vezes, dificuldade em comunicar conceitos para fora do seu círculo profissional. Por outro lado, estes técnicos também têm de ter a humildade de perceber que não têm sempre razão e que pessoas de outras áreas disciplinares podem ter, inclusive, melhores ideias para lidar com o problema dos sismos (Booth, 2018). Assim, importa ter uma visão global do problema e transmitir essa visão a todas as pessoas de uma comunidade, com diferentes tipos de linguagem, para que seja possível aumentar a resiliência coletiva aos fenómenos sísmicos.

A Proteção Civil, em função dos seus objetivos e domínios de atuação, trabalha mais ao nível da mitigação e resposta, informando sobre as medidas de autoproteção e sensibilizando as crianças para a importância da posse individual de um *kit* de emergência para ser usado em caso de sismo. No entanto, não basta saber atuar durante um sismo se os edifícios não estiverem preparados para manter a sua integridade estrutural e permitir a evacuação dos mesmos. Por outro lado, devemos considerar que, de acordo com um inquérito realizado às escolas de ensino básico e jardins-de-infância de Lisboa (Bernhardsdottir *et al.*, 2016), a maior parte dos simulacros realizados nas escolas são para situações de incêndio, não prevendo que os móveis, equipamentos, e objetos podem cair tornando a evacuação muito diferente da que pode ser feita para uma situação de incêndio. Verifica-se também que as escolas não estão preparadas para prevenir danos e ferimentos no que toca aos riscos não estruturais, visto que, por exemplo, o mobiliário ou equipamentos não estão fixados (já para não referir os riscos no exterior do edifício), o que poderá provocar feridos, vítimas mortais e obstruir saídas, inviabilizando a evacuação de forma adequada, tal como prevista nos simulacros. Deste inquérito percebe-se também que os alunos não têm consciência do risco sísmico da região onde se encontram, nem treino suficiente para evacuar uma escola após um sismo de elevada intensidade sísmica. Os seus familiares e professores também não estão cientes do risco, nem das ações a serem tomadas (por exemplo, planos familiares de emergência, pontos de encontro) para se prepararem para uma emergência.

Face ao exposto, um dos objetivos do projeto PERSISTAH foi o de contribuir para que a educação permita o aumento da resiliência das comunidades e para que a comunicação do risco seja estimulada, no sentido de formar uma sociedade mais participativa, preparada e com uma cultura de risco. Ao nível da mitigação do risco sísmico, é necessário informar e educar a comunidade escolar para a eventualidade desta ocorrência, nomeadamente através de formação nas escolas, da identificação de potenciais

riscos, tanto no interior como no exterior dos edifícios, da implementação das medidas de redução do risco estrutural e não estrutural, e da realização de exercícios de simulação. É importante ter presente que podemos influenciar o comportamento da população através do ensino, da informação, e dos exemplos práticos.

Estudos com várias comunidades afetadas por sismos provaram que a exposição ao desastre tem consequências traumáticas, que podem deixar as pessoas com perturbações mentais, muito após a sua ocorrência, com taxas que vão dos 2% aos 50% da população com perturbações de *stress* pós-traumático, e de 8% a 52% com problemas de depressão (Salcioglu, 2010).

As escolas desempenham um papel fundamental no apoio às suas comunidades após a ocorrência de um sismo que origine danos patrimoniais, pois os professores, diretores, e pessoal não docente assumem papéis que vão além da liderança educacional para lidar com uma crise imediata, gerindo as escolas como centros comunitários após o desastre, reconstruindo a estrutura das suas comunidades escolares e, ao mesmo tempo, sendo sensíveis aos aspetos físicos, emocionais, sociais e às necessidades psicológicas de sua equipa, estudantes e famílias (Mutch, 2015).

Para que os professores, monitores e técnicos da área educativa possam cumprir estes objetivos, é necessário terem ao seu dispor os recursos pedagógicos e didáticos para formação inicial e contínua da comunidade escolar. Dada a inexistência desse material, o projeto PERSISTAH criou o Guia “Por que é que o chão se move?”, que serve como uma ferramenta orientadora, e que explica os objetivos propostos no Referencial da Educação para o Risco (RERisco) indo mais além, ao incluir medidas de mitigação do risco. Esta ferramenta pode ser utilizada nos três tipos de aprendizagem (formal, não formal e informal), facilitando a interligação entre as aprendizagens das disciplinas e dos domínios a serem abordados no currículo do 1.º ciclo do ensino básico. Assim, pretende-se ensinar educadores e crianças sobre o fenómeno sísmico e a redução do risco, de uma forma criativa, pedagógica e lúdica, integrando diversas atividades que promovem a participação individual e coletiva. Desta forma, desenvolve-se uma cultura de segurança nas crianças para que possam transpor para outros momentos do seu quotidiano.

Este guião educativo tem sido testado e implementado desde outubro de 2018, com alunos do pré-escolar (5 anos) e do ensino básico (6 aos 12 anos), nas atividades que decorrem desde 2018 no Museu de São Roque em Lisboa: (i) “A terra treme! É um sismo!”; e, (ii) no *workshop* concebido para famílias que ocorre em parceria com o Instituto Superior Técnico e a Igreja e Museu de São Roque (“Se eu fosse...Engenheiro de Estruturas”); contribuindo para a aprendizagem científica não formal. O material já



foi também utilizado para atividades, em sala de aula, com alunos do 1.º, 3.º e 4.º anos do CEB em 2019 e 2020.

Num contexto mais alargado, em 2019, foram realizados dois cursos de formação para professores, em Almonte (Espanha) e em Olhão (Portugal), contando com a presença de cerca de 60 participantes, o que também permitiu testar a metodologia e comprovar o seu sucesso prático (fot. 5).

Recentemente, um dos autores deste artigo participou no programa “Explica-me como se tivesse 5 anos - Conversas sobre Ciência no Técnico para crianças e adultos curiosos”, com emissão ao vivo, utilizando o guião educativo como base (programa online: <https://www.facebook.com/tecnico.ulisboa.pt/videos/409876936689566>). Serviu também de base para o programa #EstudoEmCasa (Escola na RTP), Episódio 23, sobre o tema “Atividade Sísmica” para o 7º e 8º ano do Ensino Básico, tendo sido visto na comunidade lusófona para além-fronteiras e estando disponível em: <https://www.rtp.pt/play/estudoemcasa/p7834/e555030/ciencias-naturais-e-cidadania-7-e-8-anos>.

Também foi desenvolvido, no âmbito do projeto, o “Guia Prático Escola Resiliente aos Sismos”, que tem como objetivos: i) fornecer um instrumento que permite a identificação, avaliação, mitigação e monitorização dos riscos de acidente, em caso de sismo, dentro e fora do recinto escolar tendo em atenção os possíveis efeitos da queda de elementos não estruturais, que são uma das

principais causas de perda de vidas humanas, de bens e das funções dos edifícios, inviabilizando a retoma do ensino por tempo indeterminado; e ii) formalizar um modelo de intervenção (plano de mitigação) que pode ser replicado a todos os equipamentos de ensino, independentemente do nível de ensino, possibilitando o aumento da resiliência sísmica da comunidade escolar.

Em relação à metodologia de avaliação sísmica dos edifícios adotada no projeto PERSISTAH, também foi publicado um artigo de divulgação científica que explica as suas bases científicas, que foi revisto por professores e alunos do ensino secundário, com uma interação muito positiva, uma vez que possibilitou a adequação da escrita sobre um conjunto de conceitos de alguma complexidade técnica, permitindo que a mensagem possa chegar ao público mais facilmente (Estêvão, 2020).

### Conclusões

O trabalho desenvolvido para o Algarve, no âmbito das diversas vertentes do projeto PERSISTAH, permitiu concluir que:

- Existe uma grande dificuldade de acesso à informação necessária à avaliação da segurança sísmica das escolas;
- O programa informático desenvolvido demonstrou ser uma ferramenta que permite um conhecimento



Fot. 5 - Atividade realizada com professores baseada no guião educativo “Por que é que o chão se move?” (Fotografia de João Estêvão, tirada a 2019/10/28).

Photo 5 - Activity carried out with teachers based on the educational guide “Why does the ground shake” (Photography of João Estêvão, taken at 2019/10/28).

mais detalhado sobre o comportamento sísmico das construções, pois possibilita a avaliação de um elevado número de edifícios com base nos métodos de análise sísmica estipulados na regulamentação atualmente em vigor, em alternativa à utilização de métodos mais simplificados de avaliação;

- Foi possível constatar que nenhum dos edifícios escolares analisados (todas as escolas de alvenaria tradicional e as escolas P3 de betão armado) cumpre os níveis de segurança que são atualmente exigidos para a região, principalmente na zona da localização da Escola EB2 de Sagres (uma escola P3) que foi usada para ilustrar as capacidades do programa informático referido, designadamente atendendo aos valores de ação sísmica estabelecidos nos anexos nacionais das várias partes do Eurocódigo 8, como a NP EN 1998-1:2010 (EC8-1) e a NP EN 1998-3:2017 (EC8-3), sendo a verificação do estado limite NC o fator mais crítico;
- A falta de segurança dos edifícios de alvenaria está associada à fraca resistência das paredes estruturais e à reduzida ductilidade que este tipo de sistema estrutural apresenta, enquanto nos edifícios de betão armado o fator crítico é a reduzida resistência ao corte dos pilares, motivada pelos elevados afastamentos entre cintas, que eram permitidos pelas regulamentações mais antigas;
- A obra de reforço sísmico de uma escola piloto (Escola Básica de Brancanes) evidenciou as dificuldades da realização deste tipo de tarefa, designadamente porque se constatou um défice de conhecimento técnico generalizado sobre estas matérias; assegurar que todos os intervenientes nas obras tenham uma adequada formação sobre o assunto será uma importante medida de mitigação do risco sísmico que deve ser considerada;
- As ações de divulgação e formação para professores foram um grande sucesso, atendendo à resposta dos participantes, pelo que parece ser importante que este projeto educativo seja divulgado à comunidade educativa para que se inicie a construção de uma cultura de risco, efetiva e eficaz, com a colaboração de outros espaços que não a escola, tais como museus, universidades, e centros de ciência. Estas ações são também importantes para a comunicação do risco a todos os elementos da sociedade.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa INTERREG-POCTEP España-Portugal e ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) pelo apoio financeiro através do projeto 0313\_PERSISTAH\_5\_P.

#### Referências bibliográficas

- Alberto, Y., Otsubo, M., Kyokawa, H., Kiyota, T. and Towhata, I. (2018). Reconnaissance of the 2017 Puebla, Mexico earthquake. *Soils and Foundations*, 58(5), 1073-1092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.06.007>
- Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sarma, S. K. and Smit, P. M. (2005). Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3(1), 1-53. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-005-0183-0>
- Angelier, J., Lee, J. C., Hu, J. C. and Chu, H. T. (2003). Three-dimensional deformation along the rupture trace of the September 21st, 1999, Taiwan earthquake: a case study in the Kuangfu school. *Journal of Structural Geology*, 25(3), 351-370. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(02\)00039-1](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(02)00039-1)
- Augenti, N., Cosenza, E., Dolce, M., Manfredi, G., Masi, A. and Samela, L. (2004). Performance of School Buildings during the 2002 Molise, Italy, Earthquake. *Earthquake Spectra*, 20(S1), S257-S270. DOI: <https://doi.org/10.1193/1.1769374>
- Barreto, V. e Estêvão, J. M. C. (2020). *Feasibility of Using Steel Bracings for Seismic Retrofitting of RC School Buildings*. Paper presented at the INCReASE 2019, Cham, 1117-1127. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30938-1\\_88](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30938-1_88)
- Bernhardsdottir, A. E., Musacchio, G., Ferreira, M. A. e Falsaperla, S. (2016). Informal education for disaster risk reduction. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(7), 2105-2116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9771-9>
- Booth, E. (2018). Dealing with earthquakes: the practice of seismic engineering 'as if people mattered'. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(4), 1661-1724. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0302-8>
- Chen, H., Xie, Q., Lan, R., Li, Z., Xu, C. and Yu, S. (2017). Seismic damage to schools subjected to Nepal earthquakes, 2015. *Natural Hazards*, 88(1), 247-284. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2865-8>
- Chester, D. K. and Chester, O. K. (2010). The impact of eighteenth century earthquakes on the Algarve region, southern Portugal. *The Geographical Journal*, 176(4), 350-370. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00367.x>
- DGEEC e DSEE. (2017). *Estatísticas da Educação 2016/2017*. Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência (DGEEC).
- Di Ludovico, M., Digrisolo, A., Moroni, C., Graziotti, F., Manfredi, V., Prota, A., Dolce, M and Manfredi,



- G. (2018). Remarks on damage and response of school buildings after the Central Italy earthquake sequence. *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0332-x>
- DRE - DIÁRIO DA REPÚBLICA ELECTRÓNICO (2019). Portaria n.º 302/2019 de 12 de setembro *Diário da República*, 1.ª série, n.º 175 (pp. 134): XXI Governo Constitucional.
- Estêvão, J. M. C. e Oliveira, C. S. (2010). *Utilização de acelerogramas simulados na análise sísmica de estruturas*. Paper presented at the 8º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Aveiro, 1-13.
- Estêvão, J. M. C. (2019). An integrated computational approach for seismic risk assessment of individual buildings. *Applied Sciences*, 9(23), 5088. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9235088>
- Estêvão, J. M. C. (2020). Método computacional de avaliação do risco sísmico de escolas. *UALGORITMO*, 2, 17-21.
- Estêvão, J. M. C. e Esteves, C. (2020). Nonlinear Seismic Analysis of Existing RC School Buildings: The “P3” School Typology. *Buildings*, 10(11), 210. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings10110210>
- Estêvão, J. M. C. e Tomás, B. (2021). Ranking the Seismic Vulnerability of Masonry School Buildings according to the EC8-3 by Using Performance Curves. *International Journal of Architectural Heritage*, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1904458>
- Estêvão, J., Tomás, B., Laranja, R. e Braga, A. (2021). *Seismic Retrofitting of an Existing Masonry School Building: A Case Study in Algarve*. Paper presented at the Sustainability and Automation in Smart Constructions, Cham, 349-355. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35533-3\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35533-3_42)
- Ferreira, M. (2012). *Risco sísmico em sistemas urbanos*. (PhD), Instituto Superior Técnico, UL, Lisboa.
- Ferreira, M. A. (2009). L'Aquila earthquake viewed from World Wide Web: A Preliminary report - The first week *The Newsletter of the European Association for Earthquake Engineering*, 27(1), 6-16.
- Geller, R. J. (2011). Shake-up time for Japanese seismology. *Nature*, 472, 407-409. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10105>
- Giordano, N., De Luca, F. e Sextos, A (2020). Out-of-plane closed-form solution for the seismic assessment of unreinforced masonry schools in Nepal. *Engineering Structures*, 203, 109548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109548>
- IPQ - INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (2010a). NP EN 1998-1. *Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios* (in Portuguese). Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- IPQ - INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (2010b). NP EN 1998-5. *Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspectos geotécnicos*. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- IPQ - INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (2017). NP EN 1998-3. *Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios*. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- Kabeyasawa, T. (2017). Damages to RC school buildings and lessons from the 2011 East Japan earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(2), 535-553. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9825-z>
- Korkmaz, M., Ozdemir, M. A., Kavali, E. and Cakir, F. (2018). Performance-based assessment of multi-story unreinforced masonry buildings: The case of historical Khatib School in Erzurum, Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 94, 195-213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.08.002>
- Lew, M., Naeim, F., Carpenter, L. D., Youssef, N. F., Rojas, F., Saragoni, G. R. and Adaros, M. S. (2010). The significance of the 27 February 2010 offshore Maule, Chile earthquake. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 19(8), 826-837. DOI: <https://doi.org/10.1002/tal.668>
- MAOTDR - MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2004). *ProtAlgarve. Volume II - Caracterização e diagnóstico. Anexo J - Apreciação do risco sísmico no Algarve*: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- MAOTDR - MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2007). *ProtAlgarve. Volume III - Elementos complementares*: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Marécós, J. A. E. e Castanheta, M. C. N. (1970). Estudo do comportamento de estruturas sob a acção do sismo de 28 de Fevereiro de 1969 (pp. 1-24). Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Mutch, C. (2015). Leadership in times of crisis: Dispositional, relational and contextual factors influencing school principals' actions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 186-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.06.005>
- O'Reilly, G. J., Perrone, D., Fox, M., Monteiro, R. and Filiatrault, A. (2018). Seismic assessment and loss estimation of existing school buildings in Italy.

- Engineering Structures*, 168, 142-162.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.056>
- Oyguc, R. (2016). Seismic performance of RC school buildings after 2011 Van earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(3), 821-847.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9857-4>
- REBA (1967). *Regulamento de estruturas de betão armado. Decreto n.º 47 723, de 30 de Maio de 1967*. Lisboa: Imprensa Nacional.
- REBAPE (1983). *Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado. Decreto-Lei n.º 349-C/83, de 30 de Julho*. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, E.P.
- Ribeiro, V. (2016). As escolas primárias dos Centenários: Subsídios para uma história das construções escolares no Algarve. *Apontamentos para a história das culturas de escrita : da idade do ferro à era digital* (pp. 289-311). Faro: Universidade do Algarve.
- Rodgers, J. E. (2012). *Why Schools are Vulnerable to Earthquakes*. Paper presented at the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, 1-10.
- RSAEEP. (1983). Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes. Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, E.P.
- RSCCS (1958). *Regulamento de segurança das construções contra os sismos. Decreto n. 41 658, de 31 de Maio de 1958*. Lisboa: Imprensa Nacional.
- RSEP (1961). *Regulamento de solicitações em edifícios e pontes. Decreto n.º 44 041, de 18 de Novembro de 1961*. Lisboa: Imprensa Nacional.
- Salcioglu, E. (2010). *Mental health consequences of earthquakes and their effective treatment: a control focused behavioral treatment approach*. Paper presented at the II Conferenza Tematica Nazionale Società Italiana Riabilitazione Psicosociale, L'Aquila, 19-20.
- Silva, S., Terrinha, P., Matias, L., Duarte, J. C., Roque, C., Ranero, C. R., Geissler, W. H., and Zitellini, N. (2017). Micro-seismicity in the Gulf of Cadiz: Is there a link between micro-seismicity, high magnitude earthquakes and active faults? *Tectonophysics*, 717, 226-241.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.07.026>
- Teves-Costa, P., Batlló, J., Matias, L., Catita, C., Jiménez, M. J. and García-Fernández, Mar. (2019). Maximum intensity maps (MIM) for Portugal mainland. *Journal of Seismology*, 23(3), 417-440.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09814-5>
- Tomás, B., Barreto, V. and Estêvão, J. M. C. (2019). *Avaliação da viabilidade da utilização de elementos de contraventamento em aço como medida de reforço sísmico de escolas existentes no Algarve*. Paper presented at the XII Congresso de Construção Metálica e Mista, Coimbra, 547-553.
- Vangi, D. (2009). Simplified method for evaluating energy loss in vehicle collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 633-641.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.012>
- Zeng, E. J, and Bordeaux Silverstein, L. (2011). China earthquake relief: Participatory action work with children. *School Psychology International*, 32(5), 498-511.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0143034311402921>