

Identificação e caracterização dos movimentos de vertente desencadeados por eventos sísmicos em Portugal Continental.

Earthquake-induced landslides in Portugal mainland: identification and characterization.

T. Vaz¹, J. L. Zêzere¹

¹Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Edifício da Faculdade de Letras. Alameda da Universidade. 1600-214 Lisboa, Portugal. E-mail: teresagvaz@gmail.com

Abstract

The seismic activity often induces landslides, which amplify the consequences of earthquakes. The Portugal mainland territory is located in a tectonic environment responsible for a relevant neotectonic and seismic activity (Cabral, 1995). Although the historical seismicity data have been compiled, the information addressing earthquake-induced landslides is missing. In this context the main purpose of this work is: (i) to identify landslides induced by seismic events in Portugal mainland territory, (ii) to recognize the current morphology of these slope movements and their main geomorphologic features; (iii) to analyze the spatial distribution of earthquake-triggered landslides and to compare it with the spatial distribution of landslides triggered by rainfall. 29 earthquake-triggered landslides were identified through historical records; afterwards these were included into a database and mapped, as rigorous as possible. The identification of landslides in the present morphology was based in the analysis of cartographic, photographic, historical and archaeological documents, and was supported by digital elevation models and field work. However, the terrain recognition of landslides was very difficult because of the elapsed time on the landslides and morphologic modifications. In most cases, it was not possible to accomplish the accurate identification of landslides at the slope level. Consequently, establishing the relationship between landslides, the conditioning factors and the seismic parameters was not always possible. However, it is possible to conclude that earthquake-triggered landslides concentrate in the south and central part of Portugal mainland, contrasting with the recurrent occurrence of landslide induced by precipitation in the north and center part of the country.

Keywords

Landslides; earthquakes; historical seismicity; triggering factors.

Resumo

A actividade sísmica é, muitas vezes, responsável pelo desencadeamento de movimentos de vertente, os quais ampliam as consequências dos próprios sismos. O território de Portugal Continental localiza-se num ambiente tectónico responsável por uma actividade neotectónica e sísmica relevante (Cabral, 1995). Mas enquanto a informação sobre sismicidade histórica encontra-se compilada, a informação sobre movimentos de vertente desencadeados pelos sismos é ainda muito reduzida. Desta forma, neste trabalho procurou-se: (i) identificar os movimentos de vertente desencadeados por eventos sísmicos no território de Portugal Continental; (ii) reconhecer esses movimentos na morfologia actual e reunir as suas principais características; e (iii) analisar a sua distribuição espacial e compará-la com a dos movimentos associados a outros factores desencadeantes, nomeadamente a precipitação. Neste contexto, foram identificados 29 movimentos de vertente provavelmente desencadeados por sismos, através dos registos históricos, os quais foram posteriormente inseridos numa base de dados e cartografados com o rigor possível. A identificação dos movimentos de vertente na morfologia actual apoiou-se na análise de informação cartográfica, fotográfica, histórica, arqueológica, na criação de modelos digitais de elevação de pormenor e em trabalho de campo. No entanto, o tempo decorrido sobre os movimentos de vertente e as alterações na morfologia dificultaram o seu reconhecimento, não sendo exequível, na maior parte dos casos, uma identificação rigorosa ao nível da vertente. Desta forma, nem sempre foi possível estabelecer relações entre os movimentos de vertente, os factores condicionantes e os parâmetros sísmicos. Contudo, foi possível concluir que os movimentos de vertente desencadeados por sismos concentram-se quase exclusivamente na parte sul e centro de Portugal continental, em claro contraste com a distribuição conhecida para os movimentos desencadeados pela precipitação, que tendem a ocorrer mais frequentemente no norte e centro do país.

Palavras-Chave

Movimentos de vertente; sismos; sismicidade histórica; factor desencadeante.

Introdução

Os sismos são um dos principais factores desencadeantes para a ocorrência de movimentos de vertente, os quais ampliam, muitas das vezes, os danos originados pelo próprio evento sísmico (Bommer e Rodríguez, 2002). Estes movimentos de vertente são responsáveis por alterações na paisagem, danos económicos e muitas vezes perdas de vidas (Keefer *et al.*, 2006; Keefer e Larsen, 2007). O território de Portugal Continental localiza-se num ambiente tectónico responsável por uma significativa actividade neotectónica e sísmica (Cabral, 1995), comprovada pela análise da actividade sísmica histórica e instrumental, onde se evidencia a ocorrência de poucos eventos de magnitude elevada, mas com um grande potencial destruidor. Enquanto a informação sobre os sismos que afectaram o território nacional encontra-se compilada e tratada, a informação sobre os movimentos de vertente por eles desencadeados encontra-se dispersa e os estudos dedicados ao assunto são em número muito reduzido (e.g. Zêzere *et al.* 2001; Ferreira *et al.*, 2002; Marques, 2005). Adicionalmente, os sismos que desencadearam os movimentos de vertente mais significativos em Portugal Continental ocorreram num passado distante, sendo o último caso digno de registo o sismo de Benavente de 1909. Este facto faz centrar a análise na exploração de registos históricos e dificulta sobremaneira a identificação e delimitação dos movimentos de vertente no terreno, pela obliteração das topografias originais.

Objectivos

Considerando a dispersão da informação e o pouco tratamento dado ao assunto, perspectiva-se com este trabalho identificar os principais movimentos de vertente desencadeados por eventos sísmicos no território de Portugal Continental, contribuindo para a construção de uma base de dados. Através da informação recolhida nos registos históricos, pretende-se reconhecer esses movimentos na morfologia actual e determinar as suas características. Perspectiva-se identificar o padrão de distribuição dos movimentos desencadeados por sismos e compará-los com os desencadeados pela precipitação.

Metodologia

Tendo em conta a dispersão de informação relativa aos movimentos de vertente desencadeados por sismos, a primeira fase de trabalho consistiu na pesquisa e recolha da informação bibliográfica. Para além de dispersa, a qualidade da informação é muito variável e a sua distribuição pelo território é também pouco uniforme. Os resultados obtidos através da pesquisa bibliográfica foram posteriormente inseridos numa base de dados construída no software Microsoft Access, contendo as tabelas principais, informação relativa à própria citação e ao fenómeno. A identificação da localização dos movimentos de vertente baseou-se em informação cartográfica, fotográfica, histórica, arqueológica, na criação de modelos digitais de elevação de pormenor e, sempre que possível, em trabalho de campo.

Os valores de magnitude, intensidade e localização epicentral foram retirados do catálogo de Martins e Mendes-Victor (2001), com correcção da magnitude do sismo de 23.04.1909, com base em Teves-Costa *et al.* (1999). As intensidades foram baseadas em Justo e Salwa (1998), Baptista *et al.* (2003), Choffat e Bensaúde (1912) e Mendes (1970).

Resultados

Através de descrições históricas foram identificados 29 movimentos de vertente provavelmente desencadeados por sismos (Vaz, 2010) (figura 1). Foi identificado um intervalo de tempo que vai desde os anos de 309-382, com a ocorrência de um movimento no Rio Cavalum, no lugar da Lardosa e que apresenta data incerta, até à queda de blocos identificadas no Algarve com o sismo de 28 de Fevereiro de 1969. A localização dos movimentos de vertente apresentou algumas dificuldades, pois muitas das citações históricas indicam pontos de referência que já não existem actualmente ou cuja toponímia sofreu alteração. Em todos estes movimentos de vertente, a topografia original do movimento encontra-se sempre modificada e pouco conservada. Devido ao seu tamanho e aos materiais que os constituem, os movimentos são facilmente erodidos, situação agravada pela sua antiguidade.

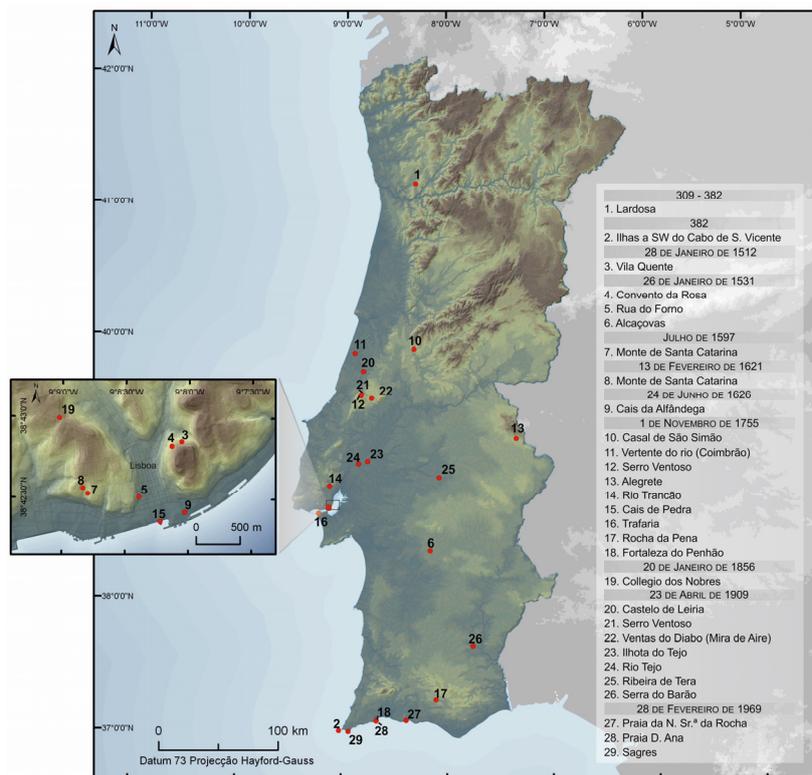


Figura 1. Localização das descrições de movimentos de vertente com desencadeamento sísmico.

Discussão

Os 29 movimentos de vertente, com um provável desencadeamento sísmico, concentram-se essencialmente no centro e sul do país, e junto a áreas litorais.

A escassa informação existente sobre os movimentos de vertente desencadeados por sismos (quadro I) é agravada pelo tempo decorrido sobre o acontecimento, permanecendo a sua localização em alguns casos como incerta, o que limita as relações que se possam estabelecer entre os movimentos de vertente, os factores condicionantes e os parâmetros sísmicos.

O declive é um dos factores condicionantes com uma importância decisiva, no entanto, no caso dos movimentos de vertente históricos, a topografia original encontra-se muito alterada, principalmente quando os movimentos decorreram em meio urbano e sobre o mesmo foram já realizadas várias intervenções. Apenas nos desabamentos de rocha, a topografia se poderá aproximar da existente na altura do sismo. Considerando os valores do gradiente médio das vertentes do Trancão (14), com 29°, Rocha da Pena (17), com 19° e Ventas do Diabo (22), com 26,5°, verifica-se que se encontram abaixo do valor de 35-40°, referido por Keefer (1984) para este tipo de movimento.

Na relação dos factores sísmicos com os movimentos de vertente é necessário ter algum cuidado na utilização dos valores de magnitude e intensidade local dos sismos históricos. Um dos problemas encontrados, e com o qual se debatem igualmente os investigadores na elaboração dos catálogos sísmicos, resulta dos efeitos de sítio, nos quais se incluem os movimentos de vertente. Frequentemente, os movimentos de vertente ampliam os danos resultantes da actividade sísmica, o que poderá levar ao exagero na determinação da intensidade e magnitude do sismo. Apenas nos sismos de 26 de Janeiro de 1531; 1 de Novembro de 1755; 23 de Abril de 1909; e 28 de Fevereiro de 1969, a identificação de relações da magnitude com os movimentos de vertente tem maior sustentação, pela grande quantidade de danos ocorrida, para além dos movimentos, e pela documentação produzida.

Quadro 1. Síntese dos movimentos de vertente desencadeados pela actividade sísmica.

	Data	Magnitude do Sismo (Mb)	Intensidade de local	Material afectado	Tipologia do movimento
1	309?	7 ¹	-	Granitos monzoníticos porfíroides, de duas micas essencialmente biotíticos/Microgranitos alcalinos turmalino-moscovíticos	-
	382?	7,5 ¹	-		
2	382	7,5 ¹	-	Sinemuriano (Liássico)	-
3	28.01.1512	6,3 ¹	-	Calcários de Casal Vistoso/Areias de Quinta do Bacalhau/Argilas de Forno do Tijolo	Escoada
4			IX ³		Escoada
5	26.01.1531	7,1 ¹	IX ³	-	-
6			VII ³	-	-
7	22?.07.1597	5,7 ¹	-	Formações das Areolas de Estefânia/Formação das Argilas dos Prazeres	Deslizamento de solo
8	13.02.1621	4 ¹	-		-
9	26.06.1626	4 ¹	-	Aluvião	-
10			VII ⁴	-	-
11			VII ⁴	Aluvião?	-
12			VII ⁴	-	-
13			VII ⁴	-	Desabamento de rocha
14	01.11.1755	8,5 ¹	VIII ⁴	Calcário com rudistas	Desabamento de rocha
15			VIII ⁴	Aluvião	Deslizamento rotacional de solo
16			IX ⁴	-	-
17			VIII ⁴	Formação de Picavessa	Desabamento de rocha
18			IX ⁴	Miocénico Marinho	-
19	20.01.1856	-	-	Argilas dos Prazeres	-
20			VII ⁵	Doleritos e rochas afins	-
21			IV ⁵	-	-
22			V ⁵	Margas e Calcários margosos do Zambujal	Desabamento de rocha
23	23.04.1909	6 ²	VIII ⁵		
24			VIII ⁵	Aluvião?	-
25			VI a VII ⁵	-	-
26			IV ⁵	-	-
27			VII ⁶	-	-
28	28.02.1969	7,5 ¹	VII ⁶	-	-
29			VII ⁶	-	-

1 Martins e Mendes-Victor, 2001

2 Teves-Costa et al., 1999

3 Justo e Salwa, 1998 (intensidade MSK)

4 Baptista et al., 2003

5 Choffat e Bensaúde, 1912 (escala de Mercalli Cancani)

6 Mendes, 1970 (escala de Rudolph)

No caso específico do sismo de 1969, acresce o início da era instrumental, com medições mais seguras. Analisando a relação entre a magnitude e distância máxima do movimento de vertente ao epicentro, a maior parte dos movimentos incluem-se nas envolventes definidas por Keefer (1984, 2002) (figura 2). Ficam excluídos os movimentos do Castelo de Leiria e da Serra do Barão ocorridos em 1909, se considerarmos a magnitude de 6 referida por Teves-Costa et al. (1999) para o sismo de Benavente. É de referir que em sismos de magnitude elevada (7 ou superior), o que controla as intensidades será a distância (mais curta) à fonte sísmica (a falha sismogénica), e não ao epicentro (projecção à superfície do local na falha onde se iniciou a ruptura). Desta forma, os resultados alcançados deverão ser analisados com algum cuidado, pelas discrepâncias que podem surgir quando as áreas de ruptura são grandes. No entanto, no campo de conhecimento actual, se já a localização do epicentro se reveste de grande incerteza, esta acresce quando nos referimos às fontes sísmicas, impedindo de serem incluídas nesta análise.

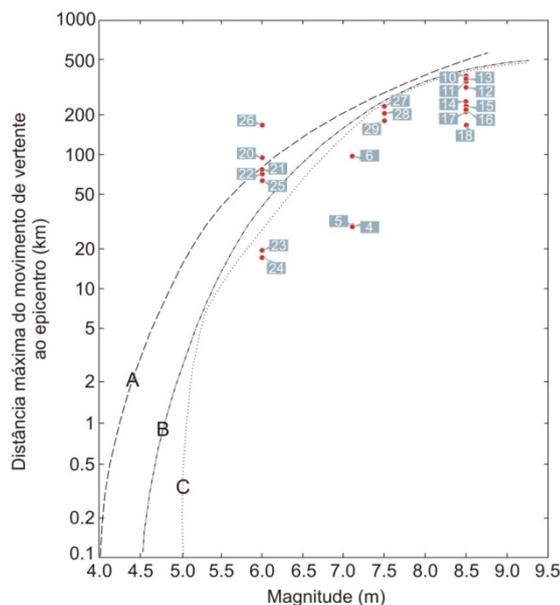


Figura 2. Distância máxima dos movimentos de vertente ao epicentro, em função da magnitude sísmica. A - Deslizamentos e desabamentos de material desagregado (disrupted slides and falls); B - Deslizamentos em material coerente (coherent slides); C - Expansões laterais e escoadas (lateral spreads and flows) (Keefer, 2002). Localizações e magnitudes segundo Martins e Mendes Victor (2001), excepto magnitude do sismo de 23 de Abril de 1909, que segue o referido em Teves-Costa et al. (1999).

O trabalho elaborado por Quaresma (2008), dedicado à inventariação de eventos hidro-geomorfológicos com consequências danosas em Portugal Continental, com base em notícias de jornais entre 1900 e 2006, assemelha-se a este trabalho em termos de metodologia e de limitações. Considerando a distribuição dos movimentos de vertente apresentada em Quaresma (2008), verifica-se uma concentração dos movimentos de massa no centro e norte do país, o que se justifica atendendo aos factores condicionantes de natureza topográfica e geológica. Estes movimentos apresentam como principal factor desencadeante a precipitação, e a sua distribuição é claramente distinta da apresentada pelos movimentos de vertente desencadeados pela actividade sísmica. A distribuição destes últimos segue de perto as isossistas da sismicidade histórica e instrumental (Atlas do Ambiente Digital - Instituto do Ambiente), com zonas de maior intensidade no centro e sul do país e nas áreas do litoral. A maior parte dos movimentos (90%) verificou-se nas zonas do território continental que sofreram intensidade sísmica máxima de VIII, IX e X (figura 3).

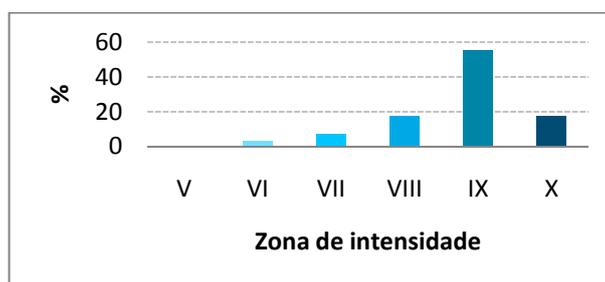


Figura 3. Distribuição dos movimentos de vertente com desencadeamento sísmico por zonas de intensidade máxima da sismicidade histórica e instrumental.

Conclusões

Através dos registos históricos foram identificados 29 movimentos de vertente desencadeados pela actividade sísmica, num intervalo de tempo que vai desde os anos de 309-382 a 1969.

Nem sempre foi possível identificar as principais características dos movimentos de vertente, já que a informação coligida é frequentemente insuficiente e pouco rigorosa, sendo a localização muitas vezes apenas provável. Desta forma, a maior parte dos movimentos de vertente não pôde ser classificada relativamente à sua tipologia. No entanto, os movimentos encontrados correspondem principalmente a desabamentos de rocha, os quais parecem preservar melhor as suas formas. Os declives das vertentes afectadas por este tipo de movimento em situação de desencadeamento sísmico são inferiores aos encontrados por Keefer (2002).

As incertezas na localização dos movimentos limitam igualmente, como é evidente, as relações que se podem estabelecer entre os movimentos, os factores condicionantes e os parâmetros sísmicos. No entanto, analisando a relação entre a magnitude e distância máxima dos movimentos de vertente ao epicentro para os sismos de 1531, 1755, 1909 e 1969, verifica-se que a maior parte dos movimentos se incluem na envolvente definida por Keefer (1984, 2002). Estes resultados necessitam, no entanto, de ser tomados com alguma precaução, pois existem imprecisões relativamente à localização epicentral dos sismos de 1531 e 1755, bem como sobre as falhas sismogénicas que lhes estão na origem. Este último parâmetro, no caso de estar disponível, seria um critério mais preciso do que a distância ao epicentro, principalmente quando se trata de áreas de ruptura de grandes dimensões.

Verificou-se que existe uma diferenciação no padrão de distribuição para os movimentos desencadeados por sismos e pela precipitação. Os primeiros concentram-se essencialmente no centro e sul do país, enquanto os desencadeados por precipitação, de acordo com os dados de Quaresma (2008), concentram-se preferencialmente no centro e norte de Portugal.

Referências

- Baptista M.A., Miranda J.M., Lopes F.C. & Luís J.F., 2007. The source of the 1722 Algarve earthquake: evidence from MCS and Tsunami data. *Journal of Seismology*, 11: 371-380.
- Bommer J.J. & Rodríguez C.E., 2002. Earthquake-induced landslides in Central America. *Engineering Geology*, 63: 189-220.
- Cabral J., 1995. Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, 31, 265 p.
- Choffat P. & Bensaúde A., 1912. Estudos sobre o sismo do Ribatejo de 23 de Abril de 1909. *Imprensa Nacional*. Lisboa, 146 pp.
- Ferreira A.B., Zêzere J.L. & Rodrigues M.L., 2002. Historical Seismicity and Landslides in Portugal. Examples from the 16th Century. In: Delahaye D. & Maquaire O. (Eds.), *Geomorphology: from Expert Opinion to Modelling. A tribute to Professor Jean-Claude Flageollet*, CERG, Rouen, 105-114.
- Justo J.L. & Salwa C., 1998. The 1531 Lisbon Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(2): 319-328.
- Keefer D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95: 406-421.
- Keefer D.K., 2002. Investigating Landslides Caused by Earthquakes - A Historical Review. *Surveys in Geophysics*, 23: 473-510.
- Keefer D.K. & Larsen M.C., 2007. Assessing Landslide Hazards. *Science*, 316: 1136-1138.
- Keefer D.K., Wasowski J. & Gaudio V., 2006. Preface. Special issue from the European Geosciences Union Symposium on landslides induced by earthquake and volcanic activity. *Engineering Geology*, 86: 85-86.
- Marques F., 2005. The "Praia do Telheiro" landslide: a 1755 Lisbon earthquake triggered slope instability? *International conference 250th Anniversary of the Lisbon Earthquake*, pp. 399-403.
- Martins I. & Mendes-Victor L.A., 2001. Contribuição para o Estudo da Sismicidade da região oeste da península ibérica. *Publicação n.º 25*, Instituto Geofísico Infante D. Luís, Universidade de Lisboa, 67 pp.
- Mendes A.S., 1970. Considerações sobre o sismo de 28 de Fevereiro de 1969. *Serviço Meteorológico Nacional*. Lisboa, 18 pp.
- Quaresma I., 2008. Inventariação e análise de eventos hidro-geomorfológicos com carácter danoso em Portugal continental. *Universidade de Lisboa*. 100 pp. (Dissertação de mestrado).
- Teves-Costa P., Borges J.F., Rio I., Ribeiro R. & Marreiros C., 1999. Source Parameters of Old Earthquakes: Semi-Automatic Digitization of Analog Records and Seismic Moment Assessment. *Natural Hazards*, 19: 205-220.
- Vaz T., Contribuição para o estudo dos movimentos de vertente desencadeados por eventos sísmicos em Portugal Continental. *Universidade de Lisboa*. 155 pp. (Dissertação de Mestrado).
- Zêzere J.L., Ferreira A.B. & Rodrigues M.L., 2001. Actividade sísmica e instabilidade de vertentes na cidade de Lisboa. *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Volumen III: 253-1264.