

Macrossismicidade associada ao sismo de Arraiolos do dia 15 de janeiro de 2018 com $M = 4,9$ e eventuais implicações na geometria da rutura

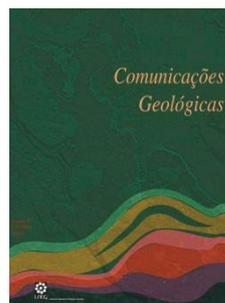
Macrossismicity associated with the Arraiolos earthquake of January 15, 2018 with $M = 4.9$ and possible implications in the geometry of the rupture

A. Araújo^{1,2*}, B. Caldeira^{1,3}, A. Martins^{1,2}, J. Borges^{1,3}, N. Moreira^{1,4}, J. Araújo², M. Maia², S. Vicente², P. Afonso², D. Espanhol², M. Bezzeghoud^{1,3}

Recebido em 20/02/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: Na segunda quinzena de janeiro de 2018 realizou-se um estudo da macrossismicidade associada ao sismo de Arraiolos de dia 15 de janeiro. No presente trabalho descreve-se a metodologia usada na recolha de informação, o tratamento dos dados e a sua representação na forma de mapa de intensidades. A distribuição geográfica das intensidades mostra um alongamento da isossista de intensidade IV na direção N-S e no sentido sul. Este alongamento poderá estar relacionado com uma variação lateral da atenuação, ou com um efeito de sítio. Outra hipótese, menos provável, é que este padrão se deva ao efeito de diretividade originado por uma rutura unilateral com propagação de norte para sul, ao longo de um plano do mecanismo focal. Esta possibilidade, conjugada com evidências para a existência de estruturas ativas WNW-ESE descritas em trabalhos anteriores, levanta a hipótese do designado “cluster sísmico de Arraiolos” estar associado a uma interseção de falhas ativas.

Palavras chave: Sismo, intensidade sísmica, Arraiolos.

Abstract: We performed a study about the macrossismicity associated to the Arraiolos (Portugal) earthquake, that occurred on January 15th, ($M = 4.9$), in order to construct a map of seismic intensities. The fieldwork took place in the second half of January, using the questionnaire available in the website of the Portuguese Institute of the Sea and the Atmosphere (IPMA). We provided the same questionnaire on the internet, and collected responses from many parts of the country. The results obtained allowed to construct a map of intensities showing a clear elongation of the intensities in a N-S direction. This orientation can be explained by the differences in the behaviour of seismic waves depending on the nature of the rocks or by a directivity effect associated with the rupture along a fault with this direction. On the one hand, an earthquake of magnitude 4.9 will hardly have the capacity to produce a directivity effect, however on the other hand the analysis of the Portuguese Geological Map seems to discard the first hypothesis. The IPMA provides on its website, a strike slip focal mechanism for this earthquake (E-W dextral and N-S sinistral). The conjugation of this focal mechanism with the distribution of intensities, seems to reinforce the hypothesis of rupture along an N-S fault plane. Similar focal mechanisms are known, associated with other earthquakes that occurred in this region, but previous works propose that they are related, not to N-S ruptures, but to WNW-ESE structures present in the region, with geological and geomorphological evidence of recent tectonic activity. In this type of studies, there is always a factor of subjectivity inherent to the sensitivity of the

people who were questioned, so these data are not sufficient to clearly affirm that the earthquake occurred associated with a N-S-trending fault. The combination of these data with the information published in previous works allows to consider the possibility that the “Arraiolos seismic cluster” corresponds to an intersection of active WNW-ESE and N-S strike slip faults. Assuming that there are alternating ruptures in both systems, temporary block occurs in the system that has been cut, leading to a local stress concentration. Though, a movement that in depth can be ductile, aseismic throughout most of the area of the faults, in the zone of intersection of the two systems the crust will have to respond necessarily as brittle, generating earthquakes and explaining the existence of this seismic cluster.

Keywords: Earthquake, seismic intensity, Arraiolos.

¹ Earth Sciences Institute, Pole of the University of Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal.

² Dep. Geociências, School of Sciences and Technology of University of Évora, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal.

³ Dep. Física, School of Sciences and Technology of University of Évora, Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal.

⁴ LIRIO, University of Évora, Estremoz Pole, Convento das Maltezas, 7100-513, Estremoz, Portugal.

* Autor correspondente/corresponding author: aaaraujo@uevora.pt

1. Introdução

É bem conhecida a existência de uma atividade sísmica geralmente fraca, difusa e persistente na região a norte de Évora (Portugal), particularmente concentrada entre Arraiolos, Pavia e Vimieiro (Borges *et al.*, 2001; Borges, 2003; Wachilala, 2015). No dia 15 de Janeiro de 2018, pelas 11 horas e 51 minutos, ocorreu um sismo de magnitude consideravelmente superior ao habitual, de 4,9 segundo os dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Este evento ocorreu a uma profundidade de 11 km e o seu epicentro localizou-se entre as povoações de Aldeia da Serra e São Gregório (N 38,79°; W 7,93°). Em termos morfoestruturais, o relevo da área de Arraiolos é formado por um compartimento mais elevado, com

altitude da ordem dos 350 m, podendo atingir cerca de 400 m nas colinas de Arraiolos, e um segundo compartimento que se estende a norte e este de Arraiolos, mais baixo, com altitudes da ordem dos 250 m. Foi neste compartimento, nas imediações de um pequeno relevo tectónico junto da localidade de Aldeia da Serra, que ocorreu o sismo e uma série de réplicas registadas nos dias seguintes. O efeito do sismo foi sentido numa região bastante vasta, inclusivamente até na cidade do Porto, de acordo com o que foi noticiado nos órgãos de comunicação social e com os dados de intensidade instrumental publicados no *site* do IPMA (<http://shakemap.ipma.pt/2018011511514001/intensity.html>). Tendo em conta a magnitude deste evento, realizou-se um estudo de macrossismicidade a nível regional, com vista à construção de um mapa de intensidades sísmicas.

2. Metodologia e tratamento dos dados

Este trabalho foi planificado nos dias 15 e 16 de janeiro de 2018, tendo os trabalhos de campo decorrido entre os dias 17 e 24 do mesmo mês. Para a recolha de informação, recorreu-se ao inquérito que o IPMA tem disponível em <https://www.ipma.pt/pt/geofisica/informe/>. A recolha de dados no campo procurou cobrir a região situada aproximadamente entre as latitudes 37,9° N (\pm o paralelo de Beja) e 39,5° N (\pm o paralelo de Abrantes) e entre as longitudes 7,1° W (\pm o meridiano de Elvas) e 9° W (\pm o meridiano de Alverca). O mesmo inquérito foi simultaneamente disponibilizado e divulgado na *internet*, tendo-se recolhido respostas vindas de muitos pontos do país entre os dias 18 e 26 de Janeiro. Globalmente foram realizados 371 inquéritos presenciais, a que se somaram 430 respostas recolhidas na *internet*. Do total das 801 respostas, foram consideradas válidas apenas 614. Foram vários os motivos que levaram à não validação de uma parte das respostas, sendo o fator de exclusão mais frequente o facto da pessoa inquirida referir que não sentiu o sismo, pois no momento estava a conduzir ou a trabalhar com máquinas pesadas, ou ruidosas.

Os resultados obtidos encontram-se sintetizados no mapa da figura 1, elaborado segundo o método proposto por Schenková *et al.* (2007).

3. Discussão dos resultados

O mapa da figura 1 mostra um alongamento das isossistas segundo a direção N-S, em particular a isossista de intensidade IV. Esta orientação pode ser explicada por diferenças no comportamento das ondas sísmicas em função da natureza das rochas, ou por um efeito de diretividade associado à rutura ao longo de uma falha com esta direção. Por um lado, um sismo de magnitude 4,9 com hipocentro a 11 km dificilmente terá capacidade para produzir um efeito de diretividade tão nítido como o que se observa na figura 1, mas, por outro lado, a análise da Carta Geológica de Portugal parece pôr claramente de parte a primeira hipótese, não se conhecendo heterogeneidades geológicas regionais que expliquem esta distribuição das intensidades.

Um outro tipo de informação disponibilizada no *website* do IPMA é o mecanismo focal do sismo (Fig. 2) que aponta para uma rutura do tipo desligamento direito E-W ou esquerdo N-S (Vales, 2018). A conjugação desta figura com o mapa de intensidades da figura 1 parece reforçar a hipótese de ter ocorrido uma rutura ao longo de um plano N-S. Na Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000 (folhas 36-A Pavia e 36-C Arraiolos), está cartografada uma falha com orientação próxima de N-S ao longo de alguns

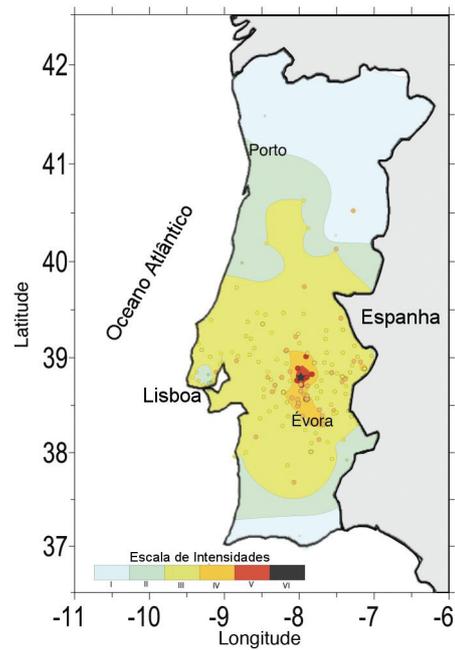


Figura 1. Mapa de intensidades associadas ao epicentro do sismo de 15 de janeiro de 2018 (Escala de Mercalli Modificada). Os círculos representam os pontos onde foram registados dados.

Figure 1. Map of intensities associated with the epicenter of the earthquake of January 15, 2018 (Modified Mercalli Scale). The circles represent the points where data was recorded.

quilómetros, com expressão geomorfológica nas proximidades de Aldeia da Serra (Fig. 3A). Esta falha pode ser o testemunho superficial da estrutura que gerou o sismo do dia 15 de Janeiro.

Borges *et al.* (2001), Borges (2003) e Bezzeghoud e Borges (2003) apresentam mecanismos focais semelhantes ao da figura 2 para dois sismos com epicentros localizados nas proximidades do ocorrido em 15 de Janeiro, um com magnitude 3,2 no dia 19 de janeiro de 1997, e outro de magnitude 4,0 ocorrido em 31 de julho de 1998. Araújo *et al.* (2010) associam estes mecanismos, não a ruturas N-S, mas a estruturas WNW-ESE presentes na região, com evidências geológicas e geomorfológicas de atividade tectónica

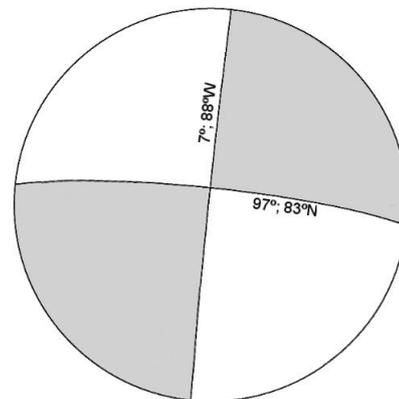


Figura 2. Mecanismo focal divulgado pelo IPMA para o sismo de Arraiolos do dia 15 de janeiro de 2018.

Figure 2. Focal mechanism released by IPMA for the Arraiolos earthquake of January 15th, 2018.

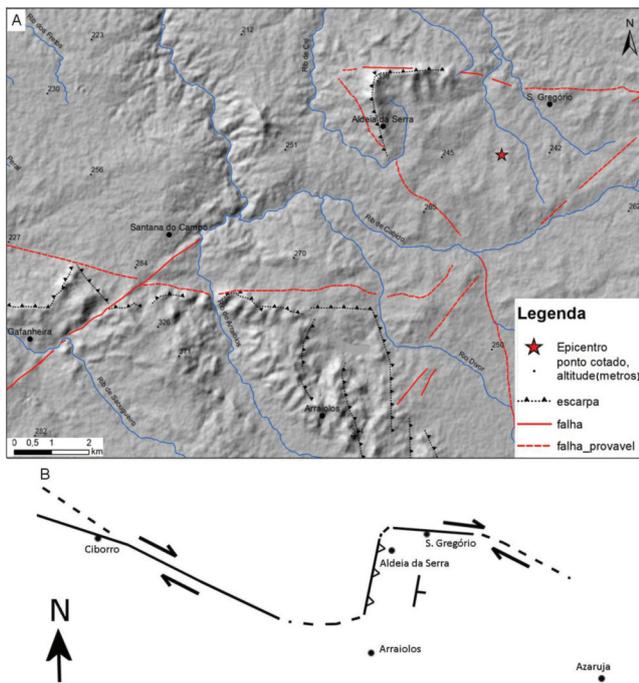


Figura 3. A – Modelo digital do terreno da região de Arraiolos-Aldeia da Serra-S. Gregório com indicação dos principais acidentes geomorfológicos; B – Esquema proposto para a atividade tectónica atual responsável pela génese do relevo de Aldeia da Serra (adaptado de Araújo *et al.*, 2010).

Figure 3. A – Digital model of the terrain for the region of Arraiolos-Aldeia da Serra-S. Gregório with indication of the main geomorphological accidents; B – Proposed scheme for the present tectonic activity, responsible for the genesis of the relief of Aldeia da Serra (adapted from Araújo *et al.*, 2010).

recente (Fig. 3A). Os mesmos autores interpretam o relevo da região de Aldeia da Serra como um *push up* associado a uma estrutura ativa WNW-ESE, do tipo desligamento direito (Fig. 3B). Importa enfatizar que quer a geometria quer a cinemática da estrutura WNW-ESE estão de acordo com os dados do mecanismo focal publicado pelo IPMA. Contudo, não estão identificadas estruturas N-S esquerdas na região epicentral; apenas a estrutura N-S da Serra está morfológica e geologicamente identificada na região proximal, sendo interpretada, no entanto, como uma falha inversa, com transporte topo-para-oeste de acordo com o modelo de Araújo *et al.* (2010).

Por último refira-se que tanto Araújo *et al.* (2010) como Pereira *et al.* (2014) salientam que, no período entre 2000 e 2009, registaram-se microsismos com uma distribuição linear segundo a direção WNW-ESE, desde esta região até à foz do Rio Sorraia, junto a Benavente.

4. Considerações finais

A informação recolhida a partir dos inquéritos realizados nos dias seguintes ao sismo de dia 15 de janeiro de 2018 sugere uma rutura ao longo de uma falha de orientação N-S. Atendendo a que neste tipo de estudos há sempre um fator de subjetividade inerente à sensibilidade das pessoas inquiridas, o mapa da figura 1 não é, por si só, suficiente para afirmar que o sismo ocorreu associado a uma falha com essa direção. A combinação destes dados com a informação publicada em trabalhos anteriores permite, no entanto, considerar a possibilidade do “*cluster* sísmico de Arraiolos” corresponder

a uma interseção de falhas ativas do tipo desligamento, com orientações WNW-ESE (direita) e N-S (esquerda). Admitindo a existência de ruturas alternadas nos dois sistemas, pode ocorrer um bloqueio temporário no sistema que foi cortado, levando a uma concentração local da tensão. Assim, uma deformação que em profundidade pode ser dúctil, associada a movimentos maioritariamente assísmicos ao longo da maior parte da superfície das falhas, na zona de interseção dos dois sistemas a crosta terá que responder forçosamente de forma frágil, gerando sismos localizados. A ocorrência de ruturas alternadas nos dois planos conjugados permite explicar este *cluster* sísmico muito localizado na região a NE de Arraiolos.

Na tarde do dia 15 de janeiro, uma equipa de investigadores do Instituto de Ciências da Terra da Universidade de Évora começou a instalar uma rede de sismómetros na região de Arraiolos-Aldeia da Serra-São Gregório com vista à monitorização das réplicas que se sucederam até ao final do mês e se prolongaram por fevereiro de 2018. Esses dados estão a ser trabalhados e irão certamente permitir compreender de uma forma mais rigorosa a geometria da(s) estrutura(s) ativa(s) responsável(is) pelo chamado “*cluster* sísmico de Arraiolos”.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento recebido através do programa plurianual do Instituto de Ciências da Terra, UID/GEO/04683.

Referências

- Araújo, A., Matos, J., Martins, A., 2010. A elevação de Aldeia da Serra (Arraiolos): um “push up” activo associado à falha de Ciborro e ao lineamento de S. Gregório *III Congresso Nacional de Geologia, e-Terra*, 11: 10.
- Bezzeghoud, M., Borges, J. F., 2003. Mecanismos focais dos sismos em Portugal Continental. *Física de la Tierra*, **15**: 229-245.
- Borges, J. F., 2003. *Fonte sísmica em Portugal. Algumas implicações na Geodinâmica Açores-Gibraltar*. Tese de Doutoramento no ramo de Física, Departamento de Física, Universidade de Évora, 307.
- Borges J. F., Fitas, A. J. S., Bezzeghoud, M., Teves-Costa, P., 2001. Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, **337**: 373-387.
- Pereira, N., Carneiro, J., Araújo, A., Bezzeghoud, M., Borges, J., 2014. Seismic and structural geology constraints to the selection of CO₂ storage sites - the case of the onshore Lusitanian basin, Portugal. *Journal of Applied Geophysics*, **102**: 21-38.
- Schenkova, Z., Schenk, V., Kalogeras, I., Pichl, R., Kottnauer, P., Papatsimba, C., Panopoulou, G., 2007. Isoseismal maps drawing by the kriging method. *Journal of Seismology*, **11**(1): 121-129.
- Vales, D., 2018. Nota Técnica: Mecanismo Focal do Sismo de Arraiolos de 15 de janeiro de 2018. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 4.
- Wachilala, P. M., 2015. *Sismotectónica da região de Ciborro-Arraiolos e sua relação com a geomorfologia local*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologia da Terra, da Atmosfera e do Espaço, especialidade em Geofísica Interna, Departamento de Física, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, 85.