

Sismotectónica ao longo da fronteira de placas tectónicas Núbia e Euro-asiática*

*Este trabalho foi publicado de forma detalhada no livro Geologia de Portugal (Bezzeghoud et al., 2012).

M. Bezzeghoud^{1*}, J. F. Borges¹ & B. Caldeira¹

¹Depto. de Física e Centro de Geofísica de Évora – ECT – Univ. de Évora, Portugal

*mourad@uevora.pt

Resumo: Ao longo do limite entre as placas Eurásia-Núbia, no troço que se estende desde as ilhas dos Açores até o Estreito de Gibraltar e região Ibero-Magrebina, distinguem-se diferentes características tectónicas. A região estudada corresponde à transição de uma fronteira oceânica (entre os Açores e o Banco Gorringe), até um limite continental onde Ibéria e África colidem. As características da sismicidade observada na região, sugere a divisão da parte ocidental do limite Eurásia-Núbia, a partir da Crista Médio-Atlântica em seis zonas. Vamos examinar as diferentes características destas seis zonas a partir da variabilidade da sismicidade e mecanismos focais.

Abstract: Seismicity along the western part of the Eurasia-Nubia (Eu-Nu) plate boundary displays very complex patterns. The average motion is transtensional in the Azores, dextral along the Gloria transform zone and convergent between the SW Portuguese Atlantic margin and the Ibero-Maghrebian zone. To constrain the factors controlling the seismicity, we provide a new sismotectonic synthesis using several earthquakes. We show that the study area can be divided into six different regions, with each characterised by a coherent seismicity pattern. The total seismic moment tensor (SMT) and the average slip velocities are provided for each region.

INTRODUÇÃO

Portugal apresenta uma atividade sísmica aumentada junto à fronteira entre as placas tectónicas Euro-asiática (EA) e Núbia (Nu), numa faixa que se estende desde Gibraltar até ao arquipélago dos Açores (Fractura Açores-Gibraltar), onde se inclui o Território Nacional, fortemente influenciada pela interação entre as placas tectónicas referidas. No Extremo ocidental dessa fronteira localiza-se a Crista Média Atlântica (CMA) que constitui a fronteira entre as placas Americana (Am) e EA e entre as placas Am e Nu. Os três ramos, que constituem o limite das três placas litosféricas, confluem num ponto denominado Junção Tripla dos Açores localizado a noroeste do Arquipélago dos Açores. A interação que ocorrer entre os três limites de placas confere a esta região uma atividade sísmica que se lhe conhece, uma das mais significativas no contexto nacional.

O limite de placas é muito bem delimitado na parte oceânica, a partir das ilhas dos Açores ao longo da falha Açores-Gibraltar até aproximadamente 12º W (oeste do Estreito de Gibraltar). De 12º W a 3.5º E, incluindo a região Ibero-Magrebina e estendendo-se até a parte ocidental da Argélia, a fronteira é mais difusa e forma uma ampla área de deformação (ex: Ribeiro et al., 1996; Borges et al., 2001; Bezzeghoud & Borges, 2003; Buforn et al., 2004; Borges et al., 2007; Bezzeghoud et al., 2012).

As características da sismicidade observada na região, sugere a divisão da parte ocidental do limite Eurásia-Núbia, a partir da Crista Médio-Atlântica - a oeste, até Argel - a leste, em seis zonas: zona I (de 30º W à 27º W, Junção Tripla a Ilha Terceira), zona II (de 27º W a 23º W), zona III (de 23º W a 11º W, Falha da Glória), zona IV (de 11º W a 6º W, Banco de Gorringe a Cádiz), zona V (de 6º W para 1º W, Béticas, Cordilheiras do Rif e Mar do Alborão) e VI (de 1º W a 3.5º E, noroeste da Argélia e Montanhas do Tell). Vamos examinar as diferentes

características destas seis zonas a partir da variabilidade da sismicidade e mecanismos focais (Bezzeghoud et al., 2012).

FONTES SÍSMICAS

A sismicidade histórica, enquanto complemento da instrumental, assume fundamental importância para a caracterização da atividade sísmica. Ela é com frequência a única fonte de informação sobre a recorrência dos grandes sismos, com períodos de retorno superiores à data dos primeiros registos instrumentais. Numa primeira análise ao mapa de epicentros constata-se que os três ramos da junção tripla dos Açores se apresentam bem definidos até à longitude de 24°W, a partir da qual se observa uma ausência de sismicidade (“gap” sísmico) que se prolonga até à longitude de 18°W. Para leste deste meridiano os epicentros apresentam-se dispersos por uma vasta área, onde é possível identificar uma larga faixa de intensa sismicidade que se estende até à região de Gibraltar.

Tendo por base toda a informação da sismicidade possível de reunir, esta vasta região é tradicionalmente subdividida em três sectores: a fracção mais ocidental, designada por Sector Ocidental, corresponde à zona da Plataforma dos Açores e estende-se desde a Dorsal Médio-Atlântica até à latitude de 24°W; o Sector Central inicia-se na Falha da Glória (FG) e prolonga-se até à latitude de 13°W; segue-se o Sector Oriental que se estende desde a Crista Tore-Madeira (aproximadamente a 13°W) até Gibraltar.

Neste trabalho apresentamos a sismicidade e os mecanismos focais dos eventos sísmicos registados, entre 1939 e 2012, na região compreendida entre Açores e Gibraltar, procurando dar-lhes significado sismotectónico. A interpretação de todos estes dados, é feita através do cálculo da deformação sísmica e do tensor momento sísmico, de cujos resultados resulta o modelo geodinâmico proposto (Bezzeghoud et al., 2012).

IMPLICAÇÕES SISMOTECTÓNICAS E GEODINÂMICA

Ao longo do limite das placas Eurásia-Núbia, no troço que se estende desde as ilhas dos Açores até o Estreito de Gibraltar e região Ibero-Magrebina, distinguem-se diferentes características tectónicas. Na parte ocidental do limite entre as placas Eurásia e África surge uma região complexa, resultado da interação entre a Ibéria e a África.. A região em causa corresponde à transição de uma fronteira oceânica (entre os Açores e o Banco Gorringe), até um limite continental onde a Ibéria e a África colidem. O limite de placas é muito bem delimitado na parte oceânica, a partir das ilhas dos Açores ao longo da falha Açores-Gibraltar até aproximadamente 12° W (oeste do Estreito de Gibraltar). De 12° W a 3.5° E, incluindo a região Ibero-Magrebina e estendendo-se até a parte ocidental da Argélia, a fronteira é mais difusa e forma uma ampla área de deformação (ex: DeMets et al., 1990; Bezzeghoud et al., 2012).

As características da sismicidade e mecanismos focais observados na região, sugere a subdivisão da parte ocidental do limite Eurásia-Núbia, a partir da Crista Médio-Atlântica - a oeste, até Argel - a leste, em seis zonas, cujas características também analisaremos.

DISCUSSÃO

Na região dos Açores, em particular na zona compreendida entre a Junção Tripla a Ilha Terceira, se considerarmos a hipótese de que esta zona representa uma extensa área de deformação confinada pelas placas EA e Nu, na qual o movimento relativo entre estas placas é acomodado por rotação de blocos - segundo o modelo de McKenzie and Jackson (1986) - então poderemos concluir que nesta mesma zona a deformação corresponde a uma extensão na direção N53°E (direção inferida a partir do Tensor Momento Sísmico da região).

A parte mais ocidental (falha de Gloria, GF) da região central, por apresentar uma sismicidade muito escassa é considerada como uma lacuna sísmica. A partir da longitude 18° W é possível identificar dois alinhamentos de sismos: o primeiro, na direção EW, é uma extensão da GF e corresponde ao limite de placas, o segundo, orientado NW-SE, corresponde a uma fractura

que começa perto do GF e atinge a costa marroquina na zona de Agadir. Estes dois alinhamentos, juntamente com a atividade sísmica associada à Cordilheira do Atlas, podem definir os limites de uma sub-placa triangular.

Do Golfo de Goringe a Cádiz e no noroeste da Argélia e Montanhas do Tell a fronteira entre as placas Eurásia-África corresponde a uma estreita faixa bem definida pela sismicidade, onde os terremotos de grande escala ($M > 7$) ocorrem associados a um movimento de compressão horizontal de direção NS a NNW-SSE, devido à convergência da Eurásia e África. Na região do Golfo de Cádiz, a ocorrência de sismos, associados a um movimento inverso de direção NNW-SSE, tais como os de 1969 ($M=8.0$), de 2007 ($M=5.9$) e de 2009 ($M=6.0$), não corroboram o movimento transcorrente-compressivo (transpressivo), sugerido recentemente por Zitellini et al. (2009).

Na extensa zona que inclui as Béticas, Cordilheiras do Rif e Mar do Alborão, o limite das placas é mais difuso. É difícil, neste caso identificar uma linha que corresponda à fronteira de placas. O limite de placa não está bem definido nesta zona e corresponde a uma ampla área em que a deformação se manifesta pela ocorrência contínua de pequenos terremotos e, apenas ocasionalmente, por alguns eventos de magnitude moderada. No entanto, como é mostrado pela sismicidade histórica há evidências de no passado terem ocorrido também grandes eventos nesta área. A falta de grandes terremotos no período 1900-1999 e os baixos valores da velocidade de deslizamento calculados nesta região, podem ser devidos a um período anómalo de quietude sísmica ao longo do século passado. O regime de tensões obtido a partir dos mecanismos focais dos eventos superficiais é compatível com a convergência horizontal de direção NS a NW-SE entre as placas Eurásia e África. No entanto, na região das Béticas-Alborão existe também uma extensão horizontal de direção aproximadamente EW.

A existência de uma atividade sísmica de profundidade intermediária (60 a 150 km) na zona oriental do Estreito de Gibraltar, que se estende numa banda vertical e estreita de 50 km de largura na direção NS pode ser explicada pela existência de um bloco sismogénico no manto superior com dimensões aproximadas de 200 km de comprimento, 150 km de profundidade e 50 km de largura. A partir dos mecanismos focais é deduzido um regime de tensões, no interior desse bloco, que corresponde a uma tensão (T) quase vertical mergulhando para SE. Diferentes modelos tectónicos têm sido propostos para esta região, que sugerem algum tipo de processo de subducção, colapso com extensão do espessamento da litosfera continental, estiramento litosférico continental, "backarc" causada por reversão de subducção, adelgamento convectivo ou de subducção com ruptura de um bloco de material. Alguns destes modelos, tais como o estiramento litosférico continental, não são compatíveis com a presença dos sismos de profundidade intermédia e seus mecanismos focais. Os resultados aqui apresentados são consistentes com o modelo apresentado por Buforn et al. (2004) de uma placa quase vertical de direção NS guiada por forças extensivas EW e NW-SE presentes no mar de Alborão. A placa está sendo estendida para baixo, possivelmente através de processos de instabilidade gravítica. A presença de sismos muito profundos (650 km) no sul de Espanha sublinha ainda mais a complexidade desta região. Os sismos intermédios podem estar relacionados com processos de subducção mais recente, e a sismicidade profunda com processos de subducção mais antiga.

Finalmente, há que ter em conta que outros tipos de deformação originada por processos assísmicos (dobramentos, espessamento, deformação plástica ou processos lentos de deslizamento) poderão ocorrer, e contudo não foram considerados, o que significa que a taxa de deformação poderá estar subestimada. Por outro lado, o catálogo sísmico que está na origem dos cálculos aqui apresentados poderá não ser suficientemente alargado para ter em conta os eventos de período de recorrência elevado. Pelos argumentos aduzidos, não é espectável que a deformação estimada a partir das observações geodésicas coincida com a que se obteve a partir dos dados de natureza sismológica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento disponibilizado pelo Centro de Geofísica de Évora, Portugal, no âmbito do contrato com a FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia), PEst-OE/CTE/UI0078/2011, PTDC/GEO-FIQ/3522/2012, e Topo-Med/TOPOEUROPE/0001/2007.

REFERENCIAS

- Bezzeghoud M., J.F. Borges e B. Caldeira, 2012. Fontes sísmicas ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a Argélia: um modelo sismotectónico. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, Escolar Editora, vol. 2, 747-790, ISBN: 978-972-592-364-1, p. 747-790.
- Bezzeghoud M. & J.F. Borges, 2003. Mecanismos focais dos sismos em Portugal continental e margem adjacente. *Física de la Tierra, Sismicidade de la Península Ibérica*, Eds: E. Buforn y A. Udias, vol. 15, 229-245.
- Borges, J.F., A.J.S. Fitas, M. Bezzeghoud & P. Teves-Costa, 2001. Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, 337, 373-387.
- Borges, J., 2003. Fonte sísmica em Portugal. Algumas implicações na Geodinâmica Açores-Gibraltar. Ph.D., University of Evora, Portugal, 307 pp.
- Borges J.F., M. Bezzeghoud, E. Buforn, C. Pro & A.J.S. Fitas, 2007. The 1980, 1997 and 1998 Azores earthquakes and its seismotectonic implications. *Tectonophysics*, 435, 37-54.
- Buforn, E., M. Bezzeghoud, A. Udías & C. Pro, 2004. Seismic sources on the Iberia-African plate boundary and their tectonic implications. *Pure Appl. Geophys.* 161, 623-646.
- DeMets, C., R. Gordon, A. Argus & A. Stein, 1990. Current plate motions. *Geophys. J. Int.* 101, 425-478.
- McKenzie, D & J.A. Jackson, 1986. A block model of distributed deformation by faulting, *J. Geol. Soc.*, London, 143, 249-253.
- Ribeiro, A. R., J. Cabral, R. Baptista & L. Matias, 1996. Tectonic stress pattern in Portugal Mainland and the adjacent Atlantic Region, *Tectonics*, 15, 641-659.
- Zitellini N., E. Gràcia, L. Matias, P. Terrinha, M.A. Abreu, G. DeAlteriis, J.P. Henriot, J.J. Dañobeitia, D.G. Masson, T. Mulder, R. Ramella, L. Somoza, S. Diez, 2009. The quest for the Africa–Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters* 280, 13–50.