

MECANISMOS FOCAIS DOS SISMOS EM PORTUGAL CONTINENTAL

FOCAL MECHANISMS OF EARTHQUAKES IN PORTUGAL

Mourad Bezzeghoud e José Fernando Borges

Departamento de Física, Universidade de Évora e Centro de Geofísica de Évora
(CGE), Apartado 94, 7002-552 Évora, Portugal, mourad@uevora.pt

RESUMO

Neste trabalho foram recolhidas, cuidadosamente testadas e analisadas, todas as soluções focais disponíveis dos eventos sísmicos de magnitude $1.9 \leq M \leq 8.0$ ocorridos no período 1960-2002 em Portugal continental e margem adjacente. A distribuição desses mecanismos focais foi detalhadamente analisada mediante diferentes técnicas, projecções e representações gráficas. Em primeira análise, estes mecanismos focais apresentam uma acentuada variabilidade (deslizamento-horizontal, inverso e oblíquo) sobre o território português; contudo foram identificados padrões importantes nas seguintes regiões: margem oeste portuguesa (deslizamento-horizontal), Lisboa e Vale do Tejo (deslizamento-vertical), região de Évora e limítrofe (deslizamento-horizontal), faixa algarvia (deslizamento-horizontal) e zona fronteira inter-placas (inverso). A distribuição geográfica da projecção horizontal dos eixos *P* e *T* mostra que a orientação dos eixos *P* se situa entre NO – SE e NNO – SSE com inclinação horizontal a sub-horizontal enquanto que os eixos *T* apresentam uma inclinação que varia de sub-horizontal, na parte continental, a sub-vertical, na margem sul do Algarve. Verifica-se que no continente e margem oeste atlântica predominam os mecanismos de deslizamento-horizontal e oblíquo, enquanto que na margem sul predominam os mecanismos de deslizamento-horizontal e inverso. Podemos, contudo,

afirmar que toda a região se encontra sob a influência de uma compressão com direcção média NO – SE e extensão com direcção media NE – SO.

ABSTRACT

In this work all available fault plane solutions, of the shallow depth seismic events with $1.9 \leq M \leq 8.0$ occurred in the period 1960-2003 in continental Portugal and adjacent margin, have been collected, carefully checked and analysed. The distribution of the focal mechanisms have been analysed in detail, by means of different techniques, projections and graphic representations. In first analysis, these focal mechanisms present an accentuated variability (strike-slip, inverse and oblique); however, we have identified some important patterns in the following regions: west Portuguese margin (strike-slip), Lisbon and Vale do Tejo (dip-slip), region of Évora and vicinity (strike-slip), region of Algarve (strike-slip) and inter-plates boundary zone (reverse). The geographical distribution of the horizontal projection of the axes P and T show that the orientation of the axes P is NW – SE to NNW - SSE from horizontal to sub-horizontal inclination while the axes T presents an inclination that varies from sub-horizontal, in the continental part, to sub-vertical, in the south margin of Algarve. It is verified that in the continent and West Atlantic margin predominate strike-slip and oblique mechanisms, while in the south margin predominate strike-slip mechanisms and inverse mechanisms. We can, however, affirm that the whole area meets under the influence of compression in an average direction NW - SE and extension in an average direction NE - SW.

Palabras clave: mecanismos focais, deslizamento-horizontal, inverso e oblíquo, compressão, extensão, Portugal

INTRODUÇÃO

Portugal continental apresenta uma actividade sísmica que resulta da sua proximidade geográfica à fronteira entre as placas tectónicas Euro-asiática (EA) e Africana (Af), numa faixa que se estende desde Gibraltar até ao arquipélago dos Açores. Esta faixa, embora não se trate de uma fractura bem delineada, é comumente designada por *Fractura Açores-Gibraltar* e é fortemente influenciada pela interacção entre os dois blocos tectónicos. No prolongamento para Ocidente deste acidente atinge-se a Crista Média Atlântica (CMA) que constitui a fronteira entre as placas Americana (Am) e EA e entre as placas Am e Af. 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 interacção entre os três limites de placas confere a esta região uma significativa actividade sísmica no contexto nacional.

Toda esta zona, devido ao potencial e efectivo risco sísmico testemunhado pelos eventos sísmicos recentes e pelos grandes terremotos historicamente documentados, é alvo de um elevado esforço de investigação multi-disciplinar em domínios tais como: sismicidade, fonte sísmica e mecanismos focais, geomagnetismo e gravimetria, cinemática de placas, geodesia e análise estrutural. Todavia, relativamente a esta zona, existem poucos trabalhos publicados no domínio da fonte sísmica e dos mecanismos focais (Udías et al., 1976; Moreira, 1985; Grimson e Chen 1986; Buforn et al., 1988a e 1988b; Borges, 1991; Moreira, 1991; Ribeiro et al., 1996; Teves Costa et al., 1999; Borges et al., 2001; Carrilho et al., 2004; Buforn et al., 2004). A razão fundamental, para o reduzido número de estudos, é a escassez de dados de qualidade que nem permitem a obtenção de mecanismos focais com um razoável grau de confiança devido à insuficiência da rede sismográfica em Portugal, ao tipo de sismicidade (fraca a moderada magnitude) e à localização geográfica do território (proximidade do mar). Um adensamento da rede sismográfica e instalação de estações sismográficas submarinas é o caminho mais adequado para atenuar esta limitação.

Neste artigo, limitamo-nos a analisar mecanismos focais dos eventos sísmicos de magnitude $1.9 \leq M \leq 8.0$ ocorridos no período 1960-2003 em Portugal continental e margem adjacente; enquanto que o trabalho de Senos e Carrilho (desta mesma publicação) analisa a sismicidade da correspondente área. Neste trabalho todas as soluções focais disponíveis, dos eventos sísmicos ocorridos, foram recolhidos, cuidadosamente analisados individualmente ou em conjunto. A distribuição dos mecanismos focais foi analisada em detalhes, mediante diferentes técnicas, projecções e e representações gráficas.

CONTEXTO SÍSMICO, MORFOLÓGICO E TECTÓNICO

Portugal continental e as suas margens atlânticas situado entre os 15° W e 5° W, é caracterizada por uma batimetria complexa constituída por grandes montanhas submarinas alinhadas nas direcções E-O a ENE-OSO, onde se incluem o Banco de Gorringe (*BG*) e o Banco Ampere (*BA*) (Fig.1). Estas montanhas encontram-se circundadas por planícies abissais muito profundas das quais se destacam a Planície do Tejo (*PT*) e a Planície da Ferradura (*PF*). Assinale-se nesta região, entre o *BG* e a costa oeste Portuguesa, uma estrutura

de grandes dimensões em forma de cavalgamento que, estendendo-se para Norte desde a latitude de $36,5^\circ$ (Fig.1). Esta estrutura, designada por *Cavalgamento Marquês de Pombal (MP)*, foi descoberta recentemente com base em dados de perfis de reflexão sísmica realizados na margem Portuguesa; no entanto, não se conhecem ainda bem os seus limites geográficos (Zitellini et al., 2001).

Neste sector a sismicidade encontra-se dispersa, sendo por isso mais difícil estabelecer os limites das placas. Esta dispersão dá lugar a dois cenários possíveis: 1) no primeiro, considera-se esta zona com uma sismicidade difusa natural; 2) no segundo, o carácter disperso pode ser atribuído à deficiente localização dos epicentros. A desfavorável distribuição da rede sísmica – ausência total de estações submarinas – torna mais credível o segundo cenário. Nesta zona fronteira, é possível esboçar o limite das placas através dos alinhamentos dos epicentros dos sismos, associando esta sismicidade a prolongamentos submarinos prováveis, de algumas fracturas existentes na zona interior da placa *EA* (Buforn et al., 1988). Estas fracturas, responsáveis por uma sismicidade intra-placas que é importante, são conhecidas: no território continental, as falhas da Nazaré (*FN*), do vale inferior do Tejo (*VIT*) e da Falha da Messejana (*FM*) e, já mais próximo de Gibraltar, as falhas de Guadalquivir (*FGq*) e de Cádiz-Alicante (*FCA*) (Fig. 1).

A distribuição da sismicidade instrumental em Portugal continental é muito heterogénea e encontra-se essencialmente concentrada no Sul e na margem oceânica adjacente (ver Senos e Carrilho, nesta mesma publicação). Esta região apresenta uma actividade sísmica caracterizada por eventos de magnitude moderada ($M < 5$) e, ocasionalmente, alguns eventos com magnitude superior ($5 \leq M \leq 7.8$). Pela sua localização constata-se que os epicentros se encontram dispersos por todo o território, embora se verifique a sua concentração em determinadas regiões: Vale do Tejo, região de Évora, margem Sul Algarvia a sudoeste do Cabo de São Vicente (*CV*) numa faixa que vai desde a Planície da Ferradura (*PF*) até ao Banco de Gorringe (*BG*). É na região que vai do Banco de Gorringe até à costa oeste Portuguesa que se encontram localizados os sismos de maior magnitude: o de 1 de Novembro de 1755 ($I_0 = X - XI$) e o de 28 de Fevereiro de 1969 ($M = 8.0$, evento N^o 4, Fig. 1). Em Portugal continental, a zona sísmicamente mais activa e capaz de gerar eventos de magnitude elevada ($M \geq 6$) causadores de impactos humanos e materiais significativos ($I_0 \geq VIII$) é genericamente a região Sul de Portugal, em especial a zona do vale do Tejo e toda a orla costeira.

É no contexto acima descrito que são analisadas a quase totalidade das soluções focais dos eventos sísmicos ocorridos em Portugal continental e margem adjacente.

MECANISMOS FOCAIS

Alguns dos eventos, ocorridos próximo da fronteira de placas, apresentam mecanismos de falha compressivos sugerindo uma convergência entre as placas *EA* e *Af* que deverá passar progressivamente de convergência do tipo oceânico para tipo continental à medida que se progride para leste a partir da latitude de 15° (Bezzeghoud e Buorn, 1999). Esta tectónica justificaria a significativa sismicidade associada às margens Sul e Sudoeste do território continental Português e aos mecanismos a ela associados (Borges et al. 2001).

Na sua globalidade, em Portugal continental e margem atlântica adjacente a distribuição de mecanismos focais é bastante heterogénea. Na figura 1 podem ver-se representados 40 mecanismos focais cujos parâmetros (hipocentros e soluções focais) estão listados na tabela 1. As soluções, apresentadas nesta lista, correspondem a sismos ($1.9=M=8.0$) ocorridos no período 1960-2003. Toda a informação sismológica correspondente, em particular as soluções focais, foi compilada a partir de diversos artigos referidos na mesma tabela. Esta compilação permitiu analisar o conjunto de mecanismos focais no sentido de estabelecer um padrão de mecanismo focal para toda a zona em apreciação, Portugal continental e a sua margem atlântica adjacente. Numa análise geral da figura 1 constata-se que predominam os mecanismos do tipo deslizamento-horizontal, inverso, ou oblíquo. Passa-se seguidamente à análise detalhada de cada região.

A margem oeste portuguesa

A margem oeste portuguesa apresenta poucos mecanismos mas todos em movimento de deslizamento-horizontal (Fig. 1); 2 e 6 apresentam planos na direcção N-S e E-O e 16 apresenta planos orientados na direcção NO-SE e NE-SO. Os primeiros poderão estar associados ao prolongamento da falha da Nazaré e o segundo poderá estar associado ao prolongamento da falha do Vale Inferior do Tejo. De acordo com esta hipótese, para os eventos 2 e 6 a movimentação seria no sentido direito na direcção E-O e o mecanismo 16 resultaria de uma movimentação igualmente no sentido dextral, mas na direcção NE-SO (Fig. 1).

Lisboa e Vale do Tejo

A Norte de Lisboa e do rio Tejo, próximo da costa, existem dois eventos (10 e 11) com mecanismos de falha normal, enquanto que a sul (próximo do Vale do Sado) e a Norte (eventos 12 e 13) existem mecanismos de falha inversa com

planos orientados na direcção NNE-SSO (Fig. 2, A4). Apesar destes últimos eventos parecerem estar associados a falhas cartografadas e assinaladas na carta neotectónica (Cabral e Ribeiro, 1988) – o evento 11 poderá estar associado a um conjunto de falhas de orientação NNE-SSO e o evento 13 ao

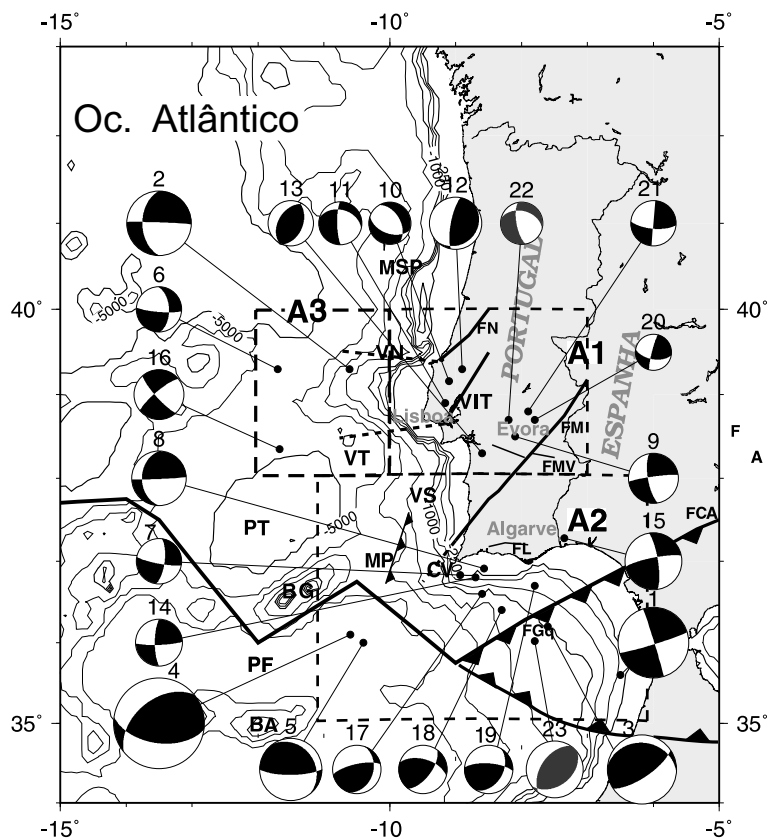


Figura 1. Mecanismos focais em Portugal Continental e margem atlântica sobre um fundo batimétrico, com intervalos de 250 m e 1000 m. As falhas tectónicas principais estão, igualmente, representadas: MSP = Montanha submarina do Porto; VN = Vale de Nazaré; VIT = Vale inferior do Tejo; VT = Vale do Tejo; VS = Vale do Sado; VV = Vale de São Vicente; MP = Marquis de Pombal; BG = Banco de Gorringer; FGq = Falha de Guadalquivir; FN = Falha de Nazaré; FM = Falha da Messejana; FMV = Falha de Moura-Vidigeira; FL = Falha de Loulé; FCA = Falha Cadiz-Alicante. A1 (Lisboa e Vale do Tejo; Évora) e A2 (faixa algarvia e a zona fronteiriça inter-placas) são representados com mais pormenores na figura 2. A3 representa a margem oeste ibérica.

Tab. 1

Nº	dia/m/ano	Lat. (°N)	Lon. (°E)	H (km)	Mag.	ϕ°	δ°	λ°	Φ° (P)	θ° (P)	Φ° (T)	θ° (T)	Ref.
1	05-12-1960	35,6	-6,5	15	6,2 Ms	73	86	-178	297,9	4,2	28	1,4	BUFa
2	26-12-1962	39,3	-10,6	5	5,7 Ms	180	47	-3	145,1	30,6	37,5	27,1	BUFa
3	15-03-1964	36,2	-7,6	12	6,1 Ms	56	71	75	157,6	24,6	303,7	61,2	BUFa
4	28-02-1969	36,1	-10,6	22	8,0 Ms	231	47	54	165	3,7	68	64,2	BUFa
5	05-05-1969	36	-10,4	29	5,5 Ms	324	24	142	194,2	28	335,2	55,4	BUFa
6	13-11-1980	39,3	-11,7	15	4,0 ML	358	54	-11	322,6	31,7	221,2	17,8	BORb
7	25-09-1986	36,8	-8,9	-	4,3 ML	7	70	-10	325	21	232	7	MOR
8	20-10-1986	36,9	-8,6	37	4,8 ML	180	37	3	147	33	29	36	BUFb
9	04-06-1987	38,5	-8,1	99	4,4 ML	262	84	-162	127,3	16,9	34,8	8,2	MOR
10	05-08-1987	39,2	-9,1	10	3,7 ML	110	49	-119	310,5	68,5	220	0,2	BORa
11	22-05-1988	38,9	-9,2	20	3,8 ML	285	38	-160	125,2	44,9	241,7	24,1	RIB
12	08-04-1989	39,3	-8,9	12	4,6 ML	191	75	79	289,9	29,2	86	58,6	BORb
13	23-09-1989	38,3	-8,6	25	4,0 ML	21	46	82	116,6	0,7	213,7	84,2	BORb
14	02-11-1989	36,8	-8,7	40	4,5 ML	180	75	8	135	5	43	16	BORb
15	20-12-1989	37,3	-7,4	23	5,0 ML	351	77	10	305	2	215	16	IGN
16	26-05-1990	38,4	-11,7	68	4,6 ML	138	79	-12	94,1	16,2	184,2	0,5	BORa
17	16-02-1993	36,6	-8,6	26	4,3 ML	17	33	34	326	22	202	54	BORb
18	22-06-1993	36,4	-8,3	15	4,3 ML	36,7	61,5	40,4	159,4	3,7	253,5	47,8	BORb
19	24-09-1994	36,7	-7,8	52	4,3 ML	274	70	126	338	17	226	51	BORb
20	19-01-1997	38,7	-7,8	13	3,2 ML	100,7	58,8	165,2	326,2	12,8	64,3	31,8	BORb
21	31-07-1998	38,8	-7,9	5	4,0 ML	95	70	180	318,2	14	51,8	14	BORb
22	20-03-2002	38,7	-8,2	12,5	3,7 ML	284	41	-149	121	50,6	233,4	17,1	BORc
23	11-12-2002	36,02	-7,8	12	5,4 Mw	41	105	5	313		69,7	79	CMT
24	13-02-1999	37,261	-8,475	22	2,2 ML	46	88	-52	348	36	105	32	CAR
25	12-04-1999	37,334	-8,475	12	2,0 ML	186	81	-44	135	37	343	22	CAR
26	11-06-1999	37,322	-8,551	8	1,9 ML	347	79	-9	303	14	213	2	CAR
27	29-07-1999	37,191	-7,869	5	2,3 ML	178	61	-1	131	21	39	19	CAR
28	21-10-1999	37,332	-8,562	15	2,0 ML	184	87	-23	137	18	232	14	CAR
29	27-03-2000	36,67	-7,305	19	3,7 ML	250	64	72	353	17	127	66	CAR

Tab. I (continuación)

Nº	dia/mes/año	Lat. (°N)	Lon. (°E)	H (km)	Mag.	ϕ °	δ °	λ °	Φ ° (P)	θ ° (P)	Φ ° (T)	θ ° (T)	Ref.
30	18-04-2000	37,201	-8,597	11	2,1 ML	210	81	-36	162	31	263	17	CAR
31	26-04-2000	36,782	-8,056	27	2,7 ML	356	80	23	127	9	221	23	CAR
32	30-07-2000	36,646	-7,334	21	2,7 ML	226	70	84	321	25	126	65	CAR
33	23-04-1996	37,107	-8,544	12	2,6 ML	301	90	-179	166	1	76	1	BEZ
34	08-07-1996	37,354	-8,818	5	3,4 ML	81	90	179	126	1	36	1	BEZ
35	17-07-1996	37,339	-8,479	9	2,2 ML	196	78	74	299	31	86	54	BEZ
36	30-08-1996	37,074	-7,942	22	2,4 ML	39	65	102	120	19	332	68	BEZ
37	11-06-1997	37,437	-7,717	27	2,7 ML	71	65	-153	290	36	20	0	BEZ
38	05-07-1997	37,305	-8,656	18	2,6 ML	276	90	-125	156	35	36	35	BEZ
39	04-03-1998	37,334	-8,531	12	3,2 ML	93	72	179	317	12	50	13	BEZ
40	24-04-1998	36,911	-8,648	23	2,3 ML	332	90	36	101	25	203	25	BEZ

Tabela I: Soluções focais analisadas neste estudo. h = profundidade; ϕ , δ , λ representam, respectivamente, o azimute, a inclinação e o ângulo de deslizamento; F e Φ representam, respectivamente, o azimute e a inclinação dos eixos P e T. BUFa: Buforn et al., (1988a); BUFB: Buforn et al.(1988b); BORa: Borges (1991); BORb: Borges et al. (2001); BORc: Borges et al. (2002); MOR: Moreira (1991); RIB: Ribeiro et al. (1997); CAR: Carrilho et al. (2004); BEZ: Bezzeghoud et al. (2000).IGN: Instituto Geográfico Nacional (Madrid); CMT: Centroid Moment Tensor (Harvard).

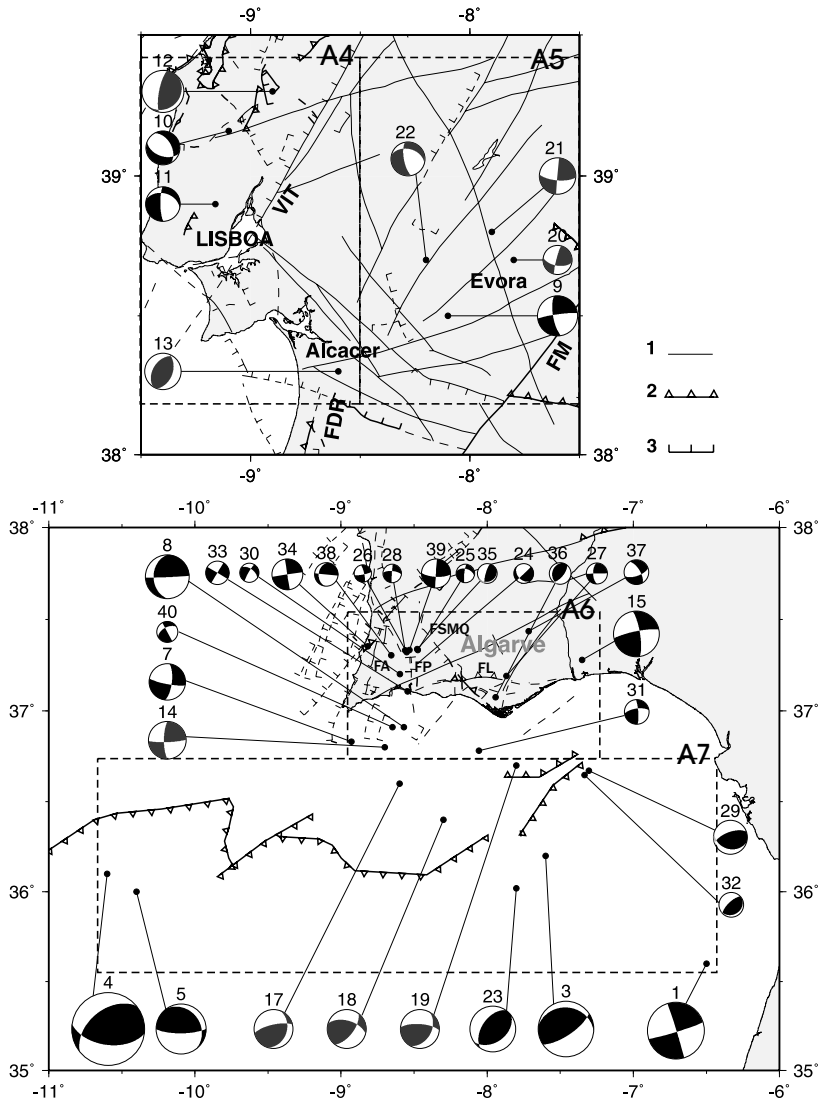


Figura 2 Detalhe dos mecanismos focais e das falhas geológicas de duas zonas. Em cima são representadas as regiões de Lisboa-Vale do Tejo (A4) e Évora e região limítrofe (A5). Em baixo corresponde à faixa algarvia (A6) e mais a sul a zona fronteiriça inter-placas (A7). 1 - alinhamentos geológicos, 2 - Falhas Normais, 3 - Falhas Inversas. FDR = Falha Deixa o Resto, FM = Falha da Messejana; FA = Falha de Algezur, FP = Falha de Portimão, FSMQ = Falha São Marcos-Quarteira, FL = Falha de Loulé. As falhas geológicas são tiradas de Cabral e Ribeiro (1988)

prolongamento para norte da Falha Deixa-o-Resto (FDR) (Ribeiro et al., 1996) (Fig. 2) – esta relação não deve ser encarada de forma categórica devido às imprecisões nas localizações.

Região de Évora e limítrofe

Os sismos 9, 20 e 21 localizam-se próximo da cidade de Évora e apresentam todos eles movimentação do tipo deslizamento-horizontal com planos orientados na direcção N-S e E-O (Fig. 2, A5). Apesar de identificar um alinhamento de epicentros da direcção N-S concordante com um dos planos dos mecanismos Borges et al. (2001), não existem falhas conhecidas com a orientação dos planos dos mecanismos. O evento (22) mais recente registado nesta região é compatível com uma orientação NO-SE, para a compressão máxima regional, contudo é do tipo falha normal, contrariamente os mecanismos da região que são do tipo deslizamento – horizontal (Fig. 2). Uma possível explicação para este facto poderá ser a proximidade deste evento à Bacia do Baixo Tejo-Sado. Os reajustes da crosta, em profundidade, relacionados com os fenómenos de subsidência desta bacia poderão estar na origem deste sismo.

A faixa algarvia

A região sul de Portugal e a sua margem costeira imediata é dominada por mecanismos do tipo deslizamento-horizontal (eventos 24 a 40) com planos orientados nas direcções N-S e E-O excepto os eventos 35 e 36 que são do tipo inverso (Fig. 2, A6). Apesar da fraca magnitude da maior parte dos eventos ($1.9 \leq M \leq 3.7$), os seus mecanismos podem ser considerados representativos da tendência geral da direcção de compressão máxima regional do Algarve porque, primeiro, um número de eventos (12) que têm a mesma tendência é significativo; segundo, estes eventos de fraca magnitude têm uma tendência semelhante aos eventos 7, 8, 14 e 15 de magnitude superior ($4.3 \leq M \leq 5.0$) que se encontram na vizinhança; e terceiro a distribuição espacial destes eventos abrange a quase totalidade do Algarve (Fig. 2, A6). Este resultado confirma o modelo tectónico para a Bacia Algarvia proposto por Terrinha (1997) e corroborado por Borges et al. (2001) com os mecanismos focais da zona. De forma a verificar este modelo foram introduzidos mais soluções focais de sismos (24-40) que ocorreram, nos últimos anos, na faixa do Algarve. Estes eventos foram agrupados por zonas utilizando o critério de proximidade, tal como mostrado na figura 3. A tabela 2 mostra a listagem dos sismos associados às zonas Z1, Z2 e Z3. Este

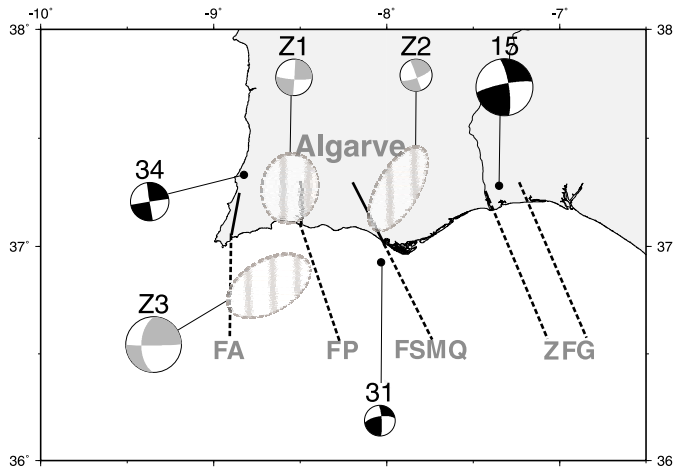


Figura 3. Modelo tectónico para a bacia do Algarve formado por falhas de deslizamento-horizonta, mecanismos focais (15, 31 e 34) e *tensores momentos totais* (Z1, Z2 e Z3). Os parâmetros dos tensores momentos totais estão listados na tabela 2. Ver pormenores no texto.

Tab. 2

N	M_o (Nm)	M_w	ϕ (o)	δ (o)	λ (o)	%DPF
Mo x 1012						
25	1,00		186	81	-44	
26	0,32		347	79	-9	
28	1,00		184	87	-23	
30	1,40		210	81	-36	
35	2,00		196	78	74	
38	7,90		276	90	-125	
39	63,0		93	72	179	
Z1	70,0	3,2	4	89	-9	4,8
Mo x 1012						
36	4,00		39	65	102	
37	11,0		71	65	-153	
27	2,80		178	61	-1	
Z2	13,0	2,8	340	89	-15	7,2
Mo x 1015						
7	2,80		7	70	-10	
8	16,00		180	37	3	
14	5,60		180	75	8	
40	0,0028		332	90	36	

Tabela 2: Soluções dos *Tensores Momentos Totais* (TMT) Z1, Z2 e Z3 representados na figura 3. % DPF : percentagem de Duplo Par de Forças.

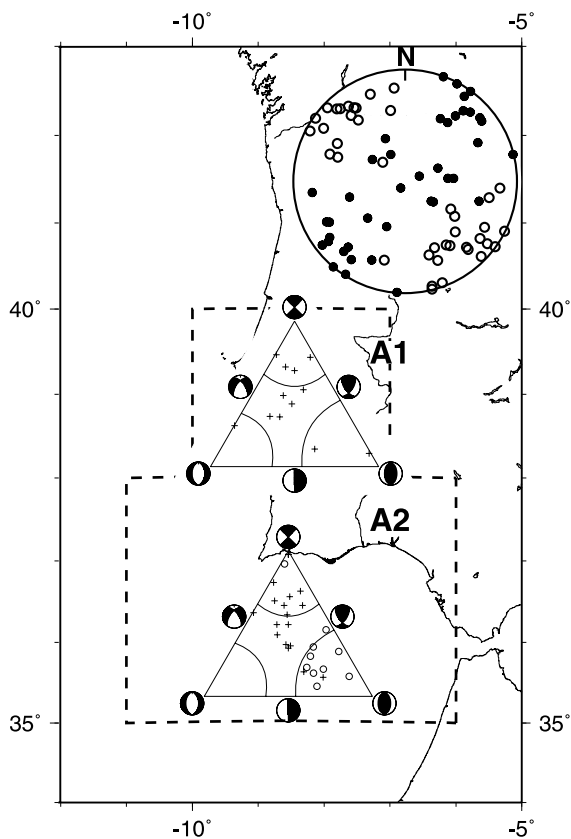


Figura 4. Em cima: projecção, no hemisfério inferior, dos eixos P (círculo vazio) e T (círculo cheio) dos 40 mecanismos focais listados na tabela 1 e representados nas figuras 1 e 2. A1 e A2: representação triangular correspondentes aos mecanismos focais dos sismos ocorridos nas zonas A1 e A2. A cruz corresponde à zona compreendida entre os paralelos 36.75° e 40° enquanto o círculo vazio corresponde à zona compreendida entre os paralelos 35° e 36.75°.

agrupamento permitiu calcular o tensor momento total de cada zona Z1, Z2 e Z3. Este tensor é separado numa componente duplo Par de Forças (PF) e numa outra do tipo Par de Forças Linearmente Compensada (PFLC) (Dziewonski e Woodhouse, 1983; Buforn et al., 2004). Na figura 3, as três zonas onde estão representados os tensores momentos total (Z1, Z2 e Z3) assim como as soluções focais individuais dos eventos 15, 31 e 34, apresentam movimentos de deslizamento-horizontal. Estes resultados mostram, sem ambiguidade, que toda a faixa Algarvia está sujeita a movimentos de deslizamento-horizontal.

Neste modelo, composto por quatro falhas de deslizamento-horizontal com orientação entre N-S a NNO-SSE, inclui-se a designada hipotética falha do Guadiana, à qual, segundo Terrinha (1997), deverá estar associado o evento de Huelva (evento Nº 15) de 20 de Dezembro de 1989 e não ao prolongamento para oriente da falha de Loulé como fora proposto por Mezcua e Rueda (1997). Ao prolongamento oceânico desta falha poderá também estar relacionado o evento Nº 1 (Fig. 2). Os restantes eventos (7, 8, e 14) seriam também explicados através do modelo acima descrito (Terrinha, 1997; Borges et al., 2001). Esta interpretação pode ainda ser reforçada pelo facto que na margem algarvia as falhas possuem uma orientação aproximada N-S. Neste contexto podemos considerar que os mecanismos da faixa algarvia e respectiva margem são consequência de um deslizamento horizontal no sentido esquerdo desenvolvido em falhas orientadas numa direcção aproximada N-S.

A zona fronteiriça inter-placas

Mais a Sul, já próximo da fronteira de placas, existe um conjunto de sismos (3, 4, 5, 17, 18, 19, 23, 29 e 32) que apresentam uma notável homogeneidade ao nível dos mecanismos focais (Fig. 2, A7). Todos eles são mecanismos inversos com uma fraca componente de deslizamento-horizontal. Estes eventos poderão estar associados a um conjunto de falhas com orientação média E-O que resultam da colisão entre as placas Euro-asiática e Africana (Figs. 1 e 2).

Análise conjunta

Na figura 4 apresentam-se, igualmente, o diagrama de Frolich para os mecanismos dos sismos com epicentros entre 36.75° e 40° e os mecanismos de sismos com epicentros entre 35° e 36.75°. Verifica-se que no continente e margem oeste atlântica predominam os mecanismos de deslizamento-horizontal e oblíquo, enquanto que na margem sul predominam os mecanismos de deslizamento-horizontal e inverso.

A projecção dos eixos P e T, apresentada na figura 4, mostra claramente uma orientação que é, respectivamente, NO-SE a NNO-SSE com inclinação de sub-horizontal a horizontal e NNE-SSO a NE-SO com inclinação de vertical a horizontal. Uma vez que a orientação e inclinação dos eixos P e T apresenta uma dispersão considerável, tal como no caso dos mecanismos focais, procedeu-se a uma análise da distribuição geográfica desses eixos. Esta distribuição, apresentada na figura 5, permite observar que na região continental e respectiva margem atlântica a orientação dos eixos P vai de

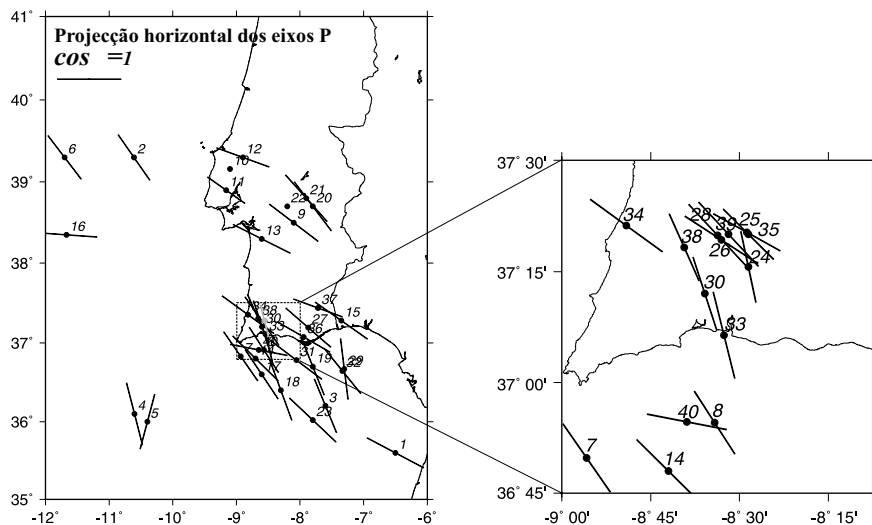


Fig. 5a – Projecção horizontal dos eixos P. O comprimento dos segmentos é proporcional ao coseno da inclinação dos eixos (\cos_{θ}). A figura a direita representa um detalhe da região indicada pelo quadrado na figura à esquerda. Os eixos com inclinação superior a 45° são representados por um ponto.

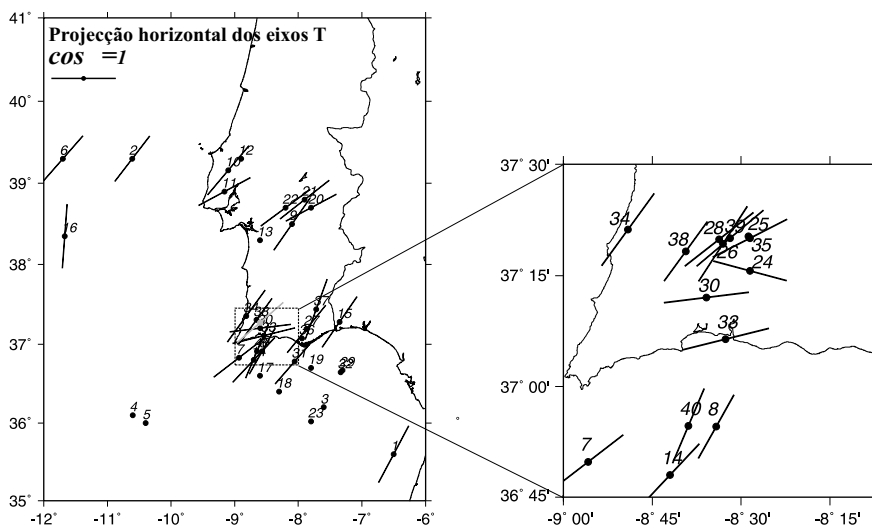


Fig. 5b – Projecção horizontal dos eixos T. idem que a figura 5a.

NO-SE a NNO-SSE com inclinação de horizontal a sub-horizontal (Fig. 5a) enquanto que os eixos T apresentam uma inclinação que varia de sub-horizontal, na parte continental, a sub-vertical, na margem sul do Algarve (Fig. 5b). Podemos, contudo, afirmar que toda a região se encontra sob a influência de uma compressão média na direcção NO-SE e extensão na direcção NE-SO.

Esta orientação do campo da tensão obtida através de 40 mecanismos confere os valores da direcção de máxima compressão S_{Hmax} publicados por Ribeiro et al. (1996) e Borges et al. (2001).

CONCLUSÃO

Em Portugal Continental, o conjunto de informação disponível permite afirmar que os mecanismos focais dos sismos localizados em território português apresentam uma acentuada variabilidade; contudo neste trabalho foram identificados alguns padrões:

- Na margem oceânica ocidental predominam os mecanismos focais do tipo deslizamento-horizontal com uma tensão compressiva de direcção ONO-ESE, possivelmente ligados a prolongamentos oceânicos das falhas do Vale Inferior do Tejo e da Nazaré.
- Na parte continental, junto à região do Vale do Tejo e Sado, a movimentação típica é vertical, associada a mecanismos normais e inversos, alguns destes correlacionáveis com falhas conhecidas ou com os respectivos prolongamentos.
- Na região de Évora os mecanismos são do tipo deslizamento-horizontal com planos orientados nas direcções NS e EO e uma compressão de direcção NO-SE associado à uma componente extensiva de direcção NE-SO; contudo, a correlação entre estes eventos e as falhas tectónicas conhecidas é difícil de estabelecer.
- No Algarve e margem sul próxima da costa, predominam sismos do tipo deslizamento-horizontal com planos aproximados NS, os quais coincidem com a orientação das falhas geológicas e confirmam o modelo proposto por Terrinha (1997).
- Na margem Sul de Portugal, já mais próximo da fronteira de placas, os mecanismos apresentam uma relativa homogeneidade, quer no tipo de mecanismo – com forte componente inversa, quer na orientação dos planos – direcção média EO, em consonância com as falhas identificadas pela morfologia do fundo oceânico; este comportamento é justificado pela proximidade da fronteira de placas e do tipo de movimentação a ela associada – convergência oceânica a ocidente,

passando, progressivamente, a colisão continental, à medida que se progride para leste. Há de sublinhar que esta zona fronteiriça, caracterizada pelos mecanismos inversos, comporte-se como a região de norte de Argélia (Bezzeghoud e Buforn., 1999; Buforn et al., 2004).

A orientação dos eixos dos mecanismos focais e indicadores de tensão de origem geológica e baseados em dados de furos permitem afirmar que Portugal continental se encontra sujeito a um campo compressivo horizontal com orientação média NO-SE.

Os mecanismos dos eventos sísmicos ocorridos em Portugal continental e nas suas margens são similares aos de muitos dos sismos localizados nas zonas do mar de Alborão, das Béticas e do Rif (Bezzeghoud e Buforn, 1999; Buforn et al., 2004). O estado das tensões sísmicas de direcção NO-SE achado, a partir dos mecanismos estudados, está de acordo com o campo regional da tensão esperado, neste área, que resulta da colisão entre as placas Euro-asiática e Africana.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi parcialmente financiado por três projectos da FCT: PBICPTCTA/2115/95, PBIC/C/CTA/2107/95 e CV-PIII-433. Agradecemos ao Professor Augusto Fitas (Universidade de Évora) pelos seus valiosos comentários e sugestões, e ao Dr. Bento Caldeira (Universidade de Évora) que teve a gentileza de contribuir à correcção do texto.

REFERENCIAS

- BEZZEGHOUD, M. and E. BUFORN, 1999. Source Parameters of the 1992 Melilla (Spain, Mw = 4.8), 1994 Alhoceima (Morocco, Mw = 5.8), and 1994 Mascara (Algeria, Mw = 5.7) Earthquakes and Seismotectonic Implications. *Bul. Seis. Soc. Am.*, 89, 2, 359-372.
- BEZZEGHOUD, M., A. FITAS, J. F. BORGES, F. CARRILHO and M. L. SENOS, 2000. Seismicity, focal mechanisms and source parameters in south Portugal. 2ª *assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, Lagos, Portugal, 129-130.
- BORGES, J. F., A. J. S. FITAS, M. BEZZEGHOUD and P. TEVES-COSTA, 2001. Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, 337, 373-387.
- BORGES, J. F., 1991. Métodos automáticos na determinação de mecanismos focais. *Relatório de Licenciatura*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. pp. 93.
- BORGES, J.F., A.J.S. FITAS e M. BEZZEGHOUD, 1999. Microsismicidade na região de Évora e o sismo de 31 de Julho de 1998. *1º Simpósio de Meteorologia e Geofísica*, Pub. A.P.M.G, Lisbon, 31-36.

- BORGES, J. F., M. BEZZEGHOUD, B. CALDEIRA e A. FITAS, 2002. Monitorização sísmica da região de Évora e o sismo de Montemor de 20 de Março de 2002. *13ª Conferência Nacional de Física*, 6-10 de Setembro de 2002, Évora, Portugal, 328-329.
- BUFORN, E., A. UDIAS and M.A. COLOMBÁS, 1988a. Seismicity, source mechanisms and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, 89-118.
- BUFORN, E., J. MÉZCUA y A. UDIAS, 1988b. Mecanismo focal del terremoto del Cabo San Vicente de 20 de Octubre de 1986. *Rev. Geofís.*, 44, 109-112.
- BUFORN, E., M. BEZZEGHOUD, A. UDIAS and C. PRO, 2004. Seismic sources on the Iberia-African plate boundary and their tectonic implications. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 4, 623-646.
- CABRAL, J. e A. RIBEIRO, 1988. Carta neotectónica de Portugal continental, escala 1:1,000,000. Dept. de Geol., Fac. Ciências, Univ. de Lisboa, *Serv. Geol. de Portugal*, GPSN.
- CARRILHO, F., P. TEVES-COSTA, I. Morais, J. Pagarete and R. Dias, 2004. Geoalgar Project – first results on seismicity and fault-plane solutions. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 4, in press.
- GRIMISON, N. L. and W. CHEN, 1986. The Azores-Gibraltar plate boundary: focal mechanism, depths of earthquakes and their tectonic implications. *J. Geophys. Res.*, 92, 2027-2047.
- MEZCUA, J. and J. RUEDA, 1997. Seismological evidence for delamination process in the lithosphere under the Alboran Sea. *Geophys. J. Int.*, 1-8.
- MOREIRA, V.S., 1985. Seismotectonics of Portugal and its adjacent area in the Atlantic. *Tectonophysics*, 117, 85-96.
- MOREIRA, V. S., 1991. Historical Seismicity and seismotectonics of the area situated between the Iberian Peninsula, Marrocco, Selvagens and Azores Islands. In: *Seismicity, Seismotectonic and Seismic Risk of the Ibero-Magrebian Region*, Pub. I.G.N., Madrid, 8, 213-225.
- RIBEIRO, A. R., J. CABRAL, R. BAPTISTA and L. MATIAS, 1996. Tectonic stress pattern in Portugal Mainland and the adjacent Atlantic Region, *Tectonics*, 15, 641-659.
- TERRINHA, P. A.G., 1997. Structural geology and tectonic evolution of the Algarve basin, South Portugal. *PhD thesis*, Royal School of Mines, Imperial College. London, 423 pp.
- TEVES-COSTA, P., J. F. BORGES, I. Rio, R. RIBEIRO and C. MARREIROS, 1999. Source Parameters of Old Earthquakes: Semi-Automatic Digitalization of Analog Records and seismic moment Assessment. *Natural Hazards*, 19, 205-220, 1999
- UDIAS, A., A. LOPEZ-ARROYO and J. MEZCUA, 1976. Seismotectonics of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 31, 259-289.
- ZITELLINI, N. et al. (30 autores), 2001. Source of 1755 Lisbon Earthquake and Tsunami Investigated. *EOS*,