

*Parâmetros que Condicionam os Valores da
Casualidade Sísmica.*

SÍSMICA 2001

5º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia
Sísmica

Açores: Laboratório Regional de Engenharia Civil.
p29-41.

2001

Parâmetros que Condicionam os Valores da Casualidade Sísmica

João Manuel Carvalho Estêvão

Eq. Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia, UAlg, Faro, Portugal

Carlos Sousa Oliveira

Professor Catedrático, DECivil, Instituto Superior Técnico, UTL, Lisboa, Portugal

Palavras Chave: Casualidade sísmica, Risco sísmico

RESUMO

As dispersões nos resultados das análises da casualidade sísmica têm originado alguma prudência na sua utilização em aplicações práticas de minimização de risco sísmico. Este trabalho visa a verificação, de forma sistemática e crítica, da influência de alguns parâmetros da análise, na credibilidade dos resultados, nomeadamente, o tipo de modelo probabilista adoptado, a delimitação das zonas geradoras de eventos sísmicos, a definição das leis de atenuação e a respectiva adequação à sismicidade verificada e às evidências sismotectónicas, no contexto da cidade de Lisboa.

1. INTRODUÇÃO

A determinação do risco sísmico de uma determinada região, bem como a definição das acções sísmicas regulamentares, requer a avaliação das vulnerabilidades sísmicas das construções e a análise rigorosa da casualidade sísmica dessa mesma região.

Os modelos probabilistas baseados em zonas de geração de eventos, tentam contemplar as incertezas inerentes à ocorrência de sismos.

Tendo por base o teorema da probabilidade total, a probabilidade de ser excedido um determinado efeito Z , no local em estudo, corresponderá à soma da contribuição de cada uma das “ n ” potenciais zonas de geração de eventos sísmicos:

$$P[Z > z] = \sum_{j=1}^n P[Z > z | E_j] \cdot P[E_j] \quad (1)$$

com

$$P[Z > z | E_j] = \iint \dots P_j[Z > z | x_1, x_2, \dots] \cdot f_j(x_1) \cdot f_j(x_2 | x_1) \dots dx_1 dx_2 \dots \quad (2)$$

em que x_i ($i=1, 2, \dots$) são as variáveis aleatórias que condicionam a probabilidade em causa, e $P[E_j]$ é a probabilidade de ocorrência de um evento na zona j .

A resolução (numérica, normalmente) das Eq. (1) e (2), exige o conhecimento das funções de densidade de probabilidade, de cada variável aleatória considerada e em cada zona de geração.

Neste contexto, é da maior importância a realização de um estudo de sensibilidade dos resultados das análises da casualidade sísmica, tendo em conta as limitações dos modelos matemáticos em traduzir as incertezas (no espaço e no tempo) que caracterizam a ocorrência de um sismo.

2. PARÂMETROS CONDICIONANTES DA PROBABILIDADE $P[Z > z]$

Os resultados das análises da casualidade sísmica para um dado local são condicionados, em primeiro lugar, pelo modelo matemático adoptado e ainda pelo conjunto de variáveis aleatórias nele considerado. Dada a dificuldade de obtenção dos dados estatísticos referentes às variáveis aleatórias, é usual a redução desse conjunto de variáveis à localização do foco (ou da ruptura) e ao processo de propagação caracterizado pela magnitude e pela distância focal (ou até à ruptura), sendo as demais consideradas determinísticas (Oliveira e Cabañero, 1999).

2.1 Modelos matemáticos

O modelo proposto por Cornell (1968), foi o precursor dos modelos probabilistas que têm como base a hipótese da ocorrência dos eventos sísmicos ser caracterizada por um processo estacionário de Poisson e pela existência de zonas geradoras de eventos sísmicos. Esse modelo, classificado como um “Point-source model”, assume que toda a energia de um sismo é dissipada num único ponto. Mais tarde, surgiu o “Fault-rupture model” (Der Kiureghian e Ang, 1977), que entra em conta com o comprimento da ruptura, podendo esta ultrapassar os limites da zona de geração. Bender (1984) adaptou este modelo, limitando a ruptura à zona de geração de eventos, dando origem ao denominado “Finite-fault rupture model” que foi implementado nas diversas versões do programa SEISRISK, bastante utilizado em estudos realizados por investigadores de vários países.

Alguns estudos realizados em Portugal (Estêvão, 1998; Estêvão e Oliveira, 1999; Estêvão e Oliveira, 2000), têm revelado que a adopção de um determinado modelo vai condicionar os resultados da análise, pelo que é da maior importância o modelo

conseguir caracterizar o fenómeno físico de forma adequada, tendo em conta a sismicidade verificada e o conhecimento actualizado da sismotectónica.

Os resultados das análises da casualidade sísmica são apresentados em termos da probabilidade total de excedência. Para efeitos da avaliação do risco sísmico das construções, é desejável que a probabilidade seja decomposta nas componentes resultantes de sismos próximos e sismos distantes do local em estudo, dadas as diferenças em termos de duração e conteúdo espectral. Campos-Costa (1993) efectuou a análise da casualidade sísmica de diversas cidades de Portugal, em termos de probabilidade total e da probabilidade referente aos sismos próximos e aos sismos distantes.

Se considerarmos a zona geradora de eventos Ω , correspondente à soma das sub-zonas geradoras de eventos próximos Ω_P e de eventos distantes Ω_D , a probabilidade total será

$$P[\Omega] = P[\Omega_P + \Omega_D] = P[\Omega_P] + P[\Omega_D] \quad (3)$$

Com base na Eq. (3), as Eq. (1) e (2) podem ser resolvidas no domínio de Ω_P e de Ω_D . Esta metodologia foi implementada no programa SRAPOR, cuja versão inicial foi desenvolvida por Estêvão (1998).

2.2 Zonas de geração de eventos

As zonas geradoras de eventos poderão ser pontos, linhas, áreas ou volumes. Nestas zonas poderão estar definidas, ou não, determinadas orientações para a ruptura.

A delimitação destas zonas sismogénicas é eminentemente intuitiva, dado que não existem critérios perfeitamente definidos para essa tarefa, tendo como suporte uma base de dados sobre a sismicidade histórica e instrumental e a caracterização sismotectónica.

É corrente admitir-se que, em cada zona, a probabilidade de ocorrer um evento sísmico é constante no espaço e no tempo.

Bender (1986) propôs uma metodologia para modelar as incertezas na delimitação das zonas. No entanto, esse método baseia-se no desvio padrão da localização dos eventos sísmicos, em cada zona, cujo valor é difícil de quantificar, sendo, normalmente, também arbitrado de forma intuitiva.

Todos estes factores levam a que cada investigador apresente um conjunto distinto de zonas sismogénicas. Este facto é agravado em Portugal dado que, muitas vezes, a sismicidade instrumental não coincide com as falhas cartografadas.

2.3 Catálogo sísmico

O catálogo sísmico (base de dados de eventos sísmicos) é um elemento fundamental nas análises da casualidade sísmica. É com base nele que são quantificadas as grandezas estatísticas de cada zona, nomeadamente a taxa anual de ocorrência de eventos sísmicos, a magnitude máxima e os parâmetros da lei de Gutenberg-Richter.

Ao adoptarmos um determinado catálogo de sismos registados instrumentalmente (os últimos 90 anos, sendo o catálogo completo somente nos últimos anos) estamos a considerar que esse período de tempo constitui uma amostra representativa da sismicidade da região. Para grandes períodos de retorno (necessários para a definição dos valores de dimensionamento das estruturas), esse pressuposto não é de todo aceitável tendo em conta as evidências da sismicidade histórica.

2.4 Mecanismos focais e atenuação

A generalidade dos modelos de análise da casualidade sísmica não contemplam, na sua formulação matemática, a influência do mecanismo focal de um sismo. Os modelos admitem que a ruptura ocorre numa determinada direcção e profundidade de foco, quantificando a probabilidade de excedência com base em leis empíricas que relacionam a magnitude do sismo com o comprimento da ruptura, e em leis de atenuação que resultam de regressões realizadas a um conjunto de registos obtidos. Normalmente são utilizados os valores médios dessas leis. No entanto, existe elevada dispersão nos registos obtidos pelo que o modelo matemático deverá incluir essas incertezas na sua formulação.

No contexto de Portugal, face à reduzida taxa de ocorrência de eventos sísmicos de grandes magnitudes, as leis não estão calibradas para essa gama de valores (Oliveira *et al.*, 1998).

3. CASOS DE ESTUDO

O modelo matemático adoptado neste estudo corresponde a uma variante ao “Finite-fault rupture model” proposto por Bender (1984). Neste modelo, contemplaram-se as incertezas de carácter temporal, assumindo que a actividade sísmica obedece a um processo homogéneo de Poisson de λ (taxa anual de ocorrência de eventos sísmicos), e que a probabilidade de ocorrência de um evento na zona j é proporcional a λ_j . Por outro lado, no cálculo da probabilidade $P[Z > z | E_j]$ intervêm três variáveis aleatórias estatisticamente independentes: a magnitude (m); a flutuação dos resultados da atenuação (ϵ); a coordenada da linha de ruptura (y). Assim

$$P[Z > z | E_j] = \iiint P_j[Z > z | m, \epsilon, y] \cdot f_M(m) \cdot f_A(\epsilon) \cdot f_y(y) \, dm \, d\epsilon \, dy \quad (4)$$

sendo

$$f_M(m) = \frac{e^{-\beta(m-M_0)}}{1 - e^{-\beta(M_U - M_0)}} \quad (5)$$

obtida da lei de Gutenberg-Richter ($\log N = a - b \cdot M$, com $\beta = b \cdot \log 10$), com truncatura superior (M_U) e inferior (M_0) da magnitude. Partindo do pressuposto que a

flutuação dos resultados das leis de atenuação seguem uma distribuição normal de Gauss, com desvio padrão σ_z , teremos

$$f_A(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0.5\varepsilon^2} \quad (6)$$

$$z(\varepsilon) = z_{med} + \varepsilon \cdot \sigma_z \quad (7)$$

Foram consideradas zonas geradoras de forma rectangular (Fig. 1) em que as potenciais falhas se encontram uniformemente distribuídas, pelo que

$$f_y(y) = \frac{1}{L_f} \quad (8)$$

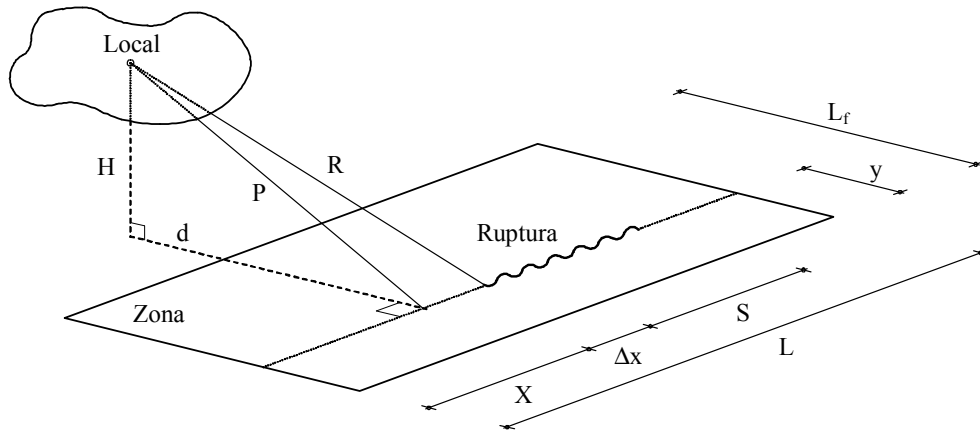


Fig. 1 - Zona geradora de eventos sísmicos com orientação definida para as falhas.

Com base no modelo proposto por Bender (1984),

$$P_j[Z > z \mid m, \varepsilon, y] = \begin{cases} \frac{2\Delta x + S}{L - S}, & M_0 \leq m \leq M_1 \\ \frac{X + \Delta x}{L - S}, & M_1 \leq m \leq M_2 \\ 1, & M_2 \leq m \leq M_U \end{cases} \quad (9)$$

em que $\Delta x = \sqrt{R^2 - P^2}$, M_1 corresponde a $X - \Delta x - S = 0$ e M_2 corresponde a $X + \Delta x + S = L$.

Neste estudo, adoptaram-se as leis de atenuação em termos de PGA (aceleração de pico) propostas por Boore *et al.* (1993), para vários tipos de solos (solo I - v_s superiores a 750 m/s; solo II - v_s entre 360 e 750 m/s; solo III - v_s entre 180 e 360

m/s), e a expressão que relaciona as magnitudes com o comprimento da ruptura (S) proposta por Schebalin ($M=3.6+2\cdot\log S$), citado por Hu *et al.* (1996). A aceleração de pico $z(m,R,\epsilon)$ apresenta-se como sendo função da magnitude, da menor distância à ruptura e do parâmetro que define a flutuação da atenuação.

Efectuou-se a análise da influência de duas zonas geradoras de eventos sísmicos (zona 1 -próxima; zona 2 - distante), nos resultados da casualidade sísmica da cidade de Lisboa, como é ilustrado na Fig. 2, com uma profundidade do foco constante de 10 km. As zonas foram escolhidas com base nos estudos realizados por Cabral (1995) e Ribeiro *et al.* (2000). Os parâmetros caracterizadores das zonas, e que serviram de base às análises de referência, estão apresentados no Quadro I, e tiveram como base o período instrumental do catálogo sísmico compilado por Sousa *et al.* (1992), limitado a magnitudes não inferiores a $M_0=3.3$ e eliminadas as réplicas. Os resultados de referência, para diversos períodos de retorno (Tr), encontram-se discriminados no Quadro II.

Quadro I - Parâmetros caracterizadores das zonas em estudo.

Zona	λ	B	M_U	L (km)	L_f (km)
1	0.232	0.674	7.1	56.5	20
2	2.159	0.587	8.5	281.3	150

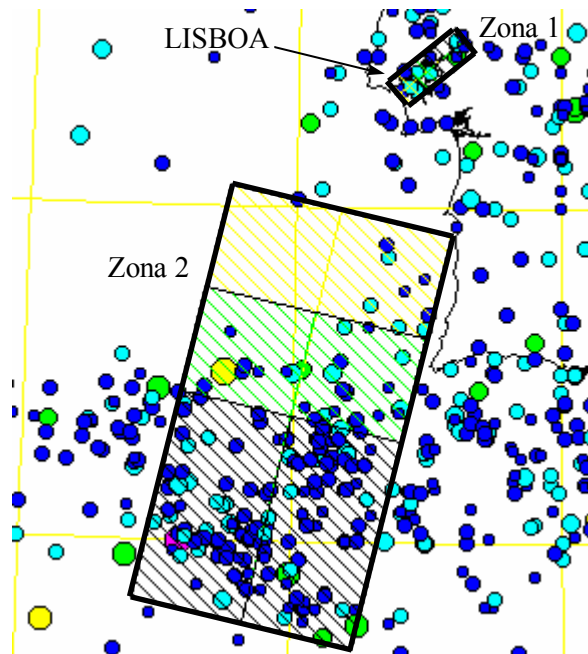


Fig. 2 - Delimitação das zonas geradora de eventos sísmicos adoptadas no estudo.

Quadro II - Valores de aceleração de pico de referência (cm/s²).

Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
	Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
100	63	90	113	23	33	41
500	133	191	238	42	61	75
1000	180	259	323	53	77	96

Com base nos valores de referência verificou-se a contribuição, isoladamente, de alguns factores condicionantes das análises de casualidade sísmica, com se apresenta em seguida:

- Delimitação da zona sismogénica - variação das dimensões das zonas que delimitam as rupturas (Quadros III e IV- os valores entre parêntesis representam as variações percentuais);

Quadro III - Aceleração de pico (cm/s²) para diferentes valores de L.

Percentagem de L	Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
		Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
75%	100	52 (-17%)	75 (-17%)	93 (-18%)	21 (-9%)	30 (-9%)	37 (-10%)
	500	102 (-23%)	146 (-24%)	183 (-23%)	37 (-12%)	53 (-13%)	66 (-12%)
	1000	133 (-26%)	191 (-26%)	239 (-26%)	46 (-13%)	66 (-14%)	82 (-15%)
50%	100	53 (-16%)	76 (-16%)	95 (-16%)	24 (+4%)	34 (+3%)	43 (+5%)
	500	106 (-20%)	153 (-20%)	191 (-20%)	42 (0%)	60 (-2%)	75 (0%)
	1000	138 (-23%)	199 (-23%)	248 (-23%)	50 (-6%)	72 (-6%)	90 (-6%)

Quadro IV - Aceleração de pico (cm/s²) para diferentes valores de L_f.

Percentagem de L _f	Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
		Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
75%	100	64 (+2%)	92 (+2%)	115 (+2%)	23 (0%)	33 (0%)	41 (0%)
	500	136 (+2%)	195 (+2%)	244 (+3%)	42 (0%)	60 (-2%)	75 (0%)
	1000	185 (+3%)	266 (+3%)	332 (+3%)	53 (0%)	76 (-1%)	95 (-1%)

Quadro IV (cont.) - Aceleração de pico (cm/s²) para diferentes valores de L_f.

50%	100	65 (+3%)	94 (+4%)	117 (+4%)	23 (0%)	33 (0%)	41 (0%)
	500	138 (+4%)	199 (+4%)	248 (+4%)	41 (-2%)	60 (-2%)	74 (-1%)
	1000	189 (+5%)	272 (+5%)	340 (+5%)	52 (-2%)	75 (-3%)	94 (-2%)

- Peso relativo dado pelo catálogo sísmico - consideração da diminuição dos valores de M_U (máximos históricos) para os valores máximos resultantes da lei de Gutenberg-Richter (M_U=5.3 na zona 1; M_U=6.8 na zona 2), cujos resultados se apresentam no Quadro V, e da variação percentual dos valores dos parâmetros “λ” e “b” (Quadros VI e VII);

Quadro V - Aceleração de pico (cm/s²) para M_U=5.3 da zona 1 e para M_U=6.8 da zona 2.

Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
	Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
100	78 (+24%)	112 (+24%)	139 (+23%)	22 (-4%)	32 (-3%)	40 (-2%)
500	133 (0%)	192 (+1%)	239 (0%)	35 (-17%)	51 (-16%)	64 (-15%)
1000	162 (-10%)	234 (-10%)	291 (-10%)	42 (-21%)	61 (-21%)	76 (-21%)

Quadro VI - Aceleração de pico (cm/s²) para diferentes valores de λ.

Variação percentual de λ	Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
		Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
-25%	100	54 (-14%)	78 (-13%)	97 (-14%)	21 (-9%)	30 (-9%)	37 (-10%)
	500	117 (-12%)	168 (-12%)	210 (-12%)	38 (-10%)	55 (-10%)	68 (-9%)
	1000	159 (-12%)	229 (-12%)	286 (-11%)	48 (-9%)	70 (-9%)	87 (-9%)
+25%	100	70 (+11%)	101 (+12%)	126 (+12%)	25 (+9%)	36 (+9%)	45 (+10%)
	500	147 (+11%)	211 (+10%)	264 (+11%)	46 (+10%)	66 (+8%)	82 (+9%)
	1000	197 (+9%)	284 (+10%)	354 (+10%)	57 (+8%)	83 (+8%)	103 (+7%)

Quadro VII - Aceleração de pico (cm/s^2) para diferentes valores de b .

Variação percentual de b	Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
		Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
-25%	100	79 (+25%)	113 (+26%)	141 (+25%)	34 (+48%)	49 (+48%)	61 (+49%)
	500	195 (+47%)	281 (+47%)	350 (+47%)	63 (+50%)	90 (+48%)	113 (+51%)
	1000	265 (+47%)	381 (+47%)	475 (+47%)	78 (+47%)	113 (+47%)	141 (+47%)
+25%	100	55 (-13%)	80 (-11%)	99 (-12%)	18 (-22%)	26 (-21%)	33 (-20%)
	500	105 (-21%)	151 (-21%)	188 (-21%)	30 (-29%)	44 (-28%)	54 (-28%)
	1000	134 (-26%)	193 (-25%)	241 (-25%)	38 (-28%)	54 (-30%)	68 (-29%)

- Profundidade do foco - determinação da casualidade sísmica para dois valores de profundidade do foco (Quadro VIII);

Quadro VIII - Aceleração de pico (cm/s^2) para diferentes valores de profundidade do foco.

Profundidade do foco	Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
		Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
7.5 km (-25%)	100	69 (+10%)	99 (+10%)	123 (+9%)	23 (0%)	33 (0%)	41 (0%)
	500	148 (+11%)	213 (+12%)	266 (+12%)	42 (0%)	61 (0%)	75 (0%)
	1000	203 (+13%)	291 (+12%)	364 (+13%)	53 (0%)	77 (0%)	96 (0%)
12.5 km (+25%)	100	58 (-8%)	84 (-7%)	105 (-7%)	23 (0%)	33 (0%)	41 (0%)
	500	121 (-9%)	174 (-9%)	218 (-8%)	42 (0%)	61 (0%)	75 (0%)
	1000	163 (-9%)	235 (-9%)	293 (-9%)	53 (0%)	77 (0%)	96 (0%)

- Flutuação nos resultados das leis de atenuação - influência da não consideração desta flutuação (Quadro IX), sendo a análise realizada com os valores médios das leis de atenuação, pelo que a Eq. 4 tomará a forma seguinte

$$P[Z > z | E_j] = \iint P_j[Z > z | m, y] \cdot f_M(m) \cdot f_y(y) \, dm \, dy \quad (10)$$

Quadro IX - Aceleração de pico (cm/s^2) para o valor médio da lei de atenuação.

Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
	Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
100	50 (-21%)	72 (-20%)	90 (-20%)	17 (-26%)	25 (-24%)	31 (-24%)
500	104 (-22%)	149 (-22%)	186 (-22%)	32 (-24%)	46 (-25%)	57 (-24%)
1000	148 (-18%)	212 (-18%)	265 (-18%)	40 (-25%)	58 (-25%)	72 (-25%)

- Consideração, em simultâneo, de todas as condições, anteriormente analisadas, que mais contribuem para a redução dos resultados das análises da casualidade sísmica (Quadro X).

Quadro X - Aceleração de pico (cm/s^2) para as condições que mais reduzem os resultados.

Tr (anos)	Zona 1			Zona 2		
	Solo I	Solo II	Solo III	Solo I	Solo II	Solo III
100	27 (-57%)	38 (-58%)	48 (-58%)	9 (-61%)	13 (-61%)	16 (-61%)
500	37 (-72%)	54 (-72%)	67 (-72%)	13 (-69%)	18 (-70%)	22 (-71%)
1000	42 (-77%)	60 (-77%)	75 (-77%)	14 (-74%)	20 (-74%)	25 (-74%)

- Decomposição da casualidade sísmica - com base na Eq. 4 e nos critérios propostos por Wenbo e Kezhong (1997), para caracterizar os domínios dos sismos próximos e dos sismos distantes, foram determinados os resultados apresentados no Quadro XI (zonas 1 e 2 em conjunto).

Quadro XI - Aceleração de pico (cm/s²) para sismos próximos, distantes e todos.

Tipo de sismos	Tr (anos)	Zonas 1 e 2		
		Solo I	Solo II	Solo III
Próximos	100	63	90	113
	500	130	187	233
	1000	173	248	310
Distantes	100	11	16	20
	500	35	50	63
	1000	50	72	90
Todos	100	65	93	116
	500	134	192	240
	1000	181	260	324

4. CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos nos casos de estudo, é possível afirmar-se que todos os parâmetros estudados influenciam de forma significativa os resultados das análises da casualidade sísmica, sendo a consideração conjunta da variação desses parâmetros altamente condicionadora dos resultados (-77% máx.).

Em relação aos valores obtidos nas análises de referência (Quadro II), verifica-se um aumento dos valores para solos menos rígidos.

Os parâmetros resultantes do catálogo sísmico evidenciam-se como sendo os factores com maior peso na variação dos valores das análises da casualidade sísmica.

A influência da flutuação nos resultados inerentes às leis de atenuação, apresenta-se como sendo o segundo factor com maior influência nos valores obtidos. Este facto poderá explicar os danos ocorridos em Lisboa em consequência do sismo de 1755, tendo em conta a possível localização do epicentro na zona 2.

A profundidade do foco não influenciou os resultados em relação à zona 2 (zona distante de Lisboa), sendo, no entanto, condicionante em relação à zona 1 (na proximidade de Lisboa).

A redução do comprimento máximo para as rupturas para as duas zonas, traduziu-se numa diminuição dos valores da casualidade sísmica, com maior expressão na zona 1. A redução da largura das zonas gerou um aumento dos valores esperados para a aceleração de pico, em relação à zona 1, não influenciando, particularmente, os resultados correspondentes à zona 2.

Em relação à metodologia proposta para a decomposição da casualidade sísmica (sismos próximos e sismos distantes) verifica-se uma boa correlação dos resultados em relação às análises de referência. Por este facto, esta será uma metodologia possível de adoptar na definição dos valores de pico inerentes aos sismos a considerar no projecto de novas construções e na avaliação do risco sísmico das construções existentes.

Por último, salienta-se a importância deste tipo de estudos por permitir compreender a influência de todas as variáveis aleatórias que caracterizam o risco sísmico, o que constitui informação essencial para a realização de planos de minimização desse mesmo risco, a levar a cabo pelos órgãos de protecção civil.

5. REFERÊNCIAS

Bender, B. (1984), *Seismic hazard estimation using a finite-fault rupture model*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 74, nº 5, p. 1899-1923.

Bender, B. (1986), *Modeling source zone boundary uncertainty in seismic hazard analysis*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 76, nº 2, p. 329-341.

Boore, D. M. ; Joyner, W. B. ; Fumal, T. E. (1993), *Estimation of response spectra and peak accelerations from western North America earthquakes: An interim report*. Open-File-Report 93-509, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 72 p.

Cabral, J. (1995), *Neotectónica de Portugal Continental, Memórias*. Nova Série, vol. 31, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Campos-Costa, A. (1993), *A acção dos sismos e o comportamento das estruturas*. Porto: FEUP, Universidade do Porto. Tese de doutoramento.

Cornell, C. A. (1968), *Engineering seismic risk analysis*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 58, nº 5, p. 1583-1606.

Der Kiureghian, A.; Ang, A. H.-S (1977), *A fault-rupture model for seismic risk analysis*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 67, nº 4, p. 1173-1194.

Estêvão, J. M. C. (1998), *Modelo computacional de avaliação do risco sísmico de edifícios*. Lisboa: IST, Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação de mestrado.

Estêvão, J. M. C. ; Oliveira, C.S. (1999), *Contribuição para a avaliação do risco sísmico: Aplicação à cidade de Faro*. Em 4º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica / 2^{ème} Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranéens. Faro: Escola Superior de Tecnologia, UAlg. p. 93-102.

Estêvão, J. M. C. ; Oliveira, C.S. (2000), *Análise comparativa da casualidade sísmica do Algarve*. Em 2ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Lagos. S06-15 p. 241-242.

Hu, Y.-X. ; Liu, S.-C. ; Dong, W. (1996), *Earthquake engineering*. London: E & FN Spon.

Oliveira, C. S. ; Cabañero, S. (1999), *Evolución histórica del análisis de la peligrosidad sísmica. Tendencias para nuevos desarrollos*. Em 1º Encontro Nacional de Ingeniería Sísmica, Espanha.

Oliveira, C. S. ; Paula, A. ; Sousa, M. L. ; Martins, A. (1998), *A rede acelerográfica do continente Português e os registos sísmicos obtidos em 1996 e 1997. Contribuição para a definição da acção sísmica e caracterização do comportamento de edifícios*. Em IX Asamblea Española de Geodesia y Geofísica / I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Almería: Universidad de Almería e Instituto Geográfico Nacional.

Ribeiro, A.; Terrinha, P.; Zitellini, N.; Victor, L.; Dañobeitia, J.; Carrilho, F.; Matias, L.; Pinheiro, L; BIGSETS team (2000), *Estrutura e sismotectónica da Margem Sudoeste Portuguesa*. Em 3º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica, Faro. p.183-184.

Sousa, M. L. ; Martins, A. ; Oliveira, C. S. (1992), *Compilação de catálogos sísmicos da região Ibérica*. Relatório 36/92 - NDA. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil,

Wenbo, Z.; Kezhong, P. (1997), *Estimation on the duration of strong ground motion*. Em Mitigation the impact of impending earthquakes. Rotterdam: Balkema. p. 149-156.