

## TEMA 2

### riscos sísmicos e vulcânicos

Mourad Bezzeghoud [CGE, Universidade de Évora]

José Borges [CGE, Universidade de Évora]

Bento Caldeira [CGE, Universidade de Évora]

Alexandre Araújo [CGE, Universidade de Évora]

RISCOS  
NATURAIS  
E TECNOLÓGICOS



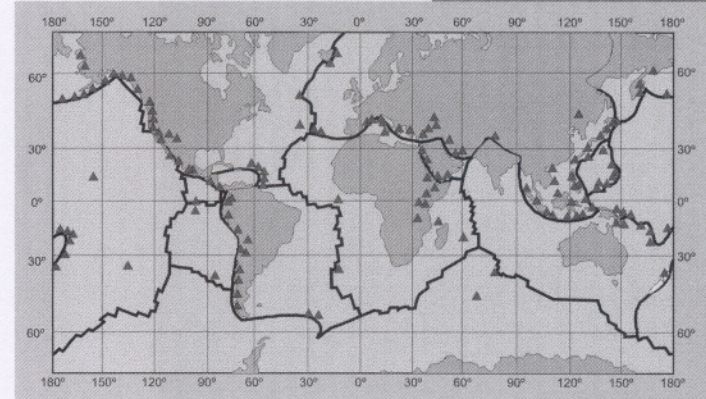
## Quais são as principais manifestações da dinâmica interna da Terra?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

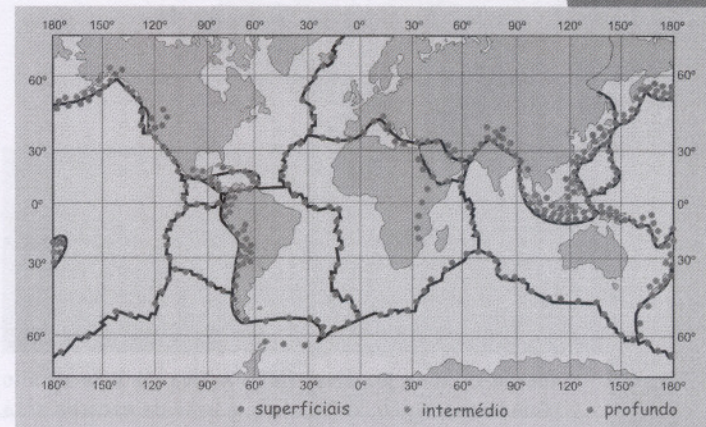
**D**urante a nossa vida temos a noção que a Terra é estática, as montanhas, os rios, os oceanos já existiam muito antes de nascermos, mantêm a mesma aparência durante a nossa existência e assim continuarão, muito para além de nós.

Pontualmente podemos apercebermo-nos que essa estabilidade não é assim tão real, quando ocorre um sismo. Mesmo neste caso, a probabilidade de assistirmos a um sismo violento que provoque alterações topográficas visíveis é, felizmente, baixa. Podemos reparar ao longo dos anos numa arriba costeira que é gradualmente destruída pelas tempestades, ou numa praia que quando éramos crianças tinha uma maior extensão de areia. Estas alterações parecem-nos irrelevantes e temos a ideia que os continentes e oceanos, as montanhas e os rios vão continuar imutáveis para sempre. O dinamismo do Planeta parece-nos ténue e pontual mas, à escala do tempo geológico [em que a unidade de tempo é 1 milhão de anos] traduz-se na formação de grandes montanhas, na total erosão de outras, na abertura de oceanos onde anteriormente eram continentes, no fecho e desaparecimento de outros oceanos. Uma montanha pode levar dezenas de milhões de anos a formar-se, um oceano pode abrir, crescer dividindo um continente em dois, atingir larguras de milhares de quilómetros e tornar a fechar, 200 milhões de anos depois de ter nascido.

Apesar de nos poder passar despercebida, a tectónica de placas manifesta-se todos os dias, fundamentalmente através de sismos (sentidos ou apenas registados em aparelhos) e de actividade vulcânica. Estes dois fenómenos concentram-se maioritariamente nas chamadas fronteiras de placas. A tectónica de placas manifesta-se também através de movimentos lentos, de levantamento ou afundamento, de vastas regiões.



Distribuição da actividade vulcânica na Terra [fonte: CCVE].

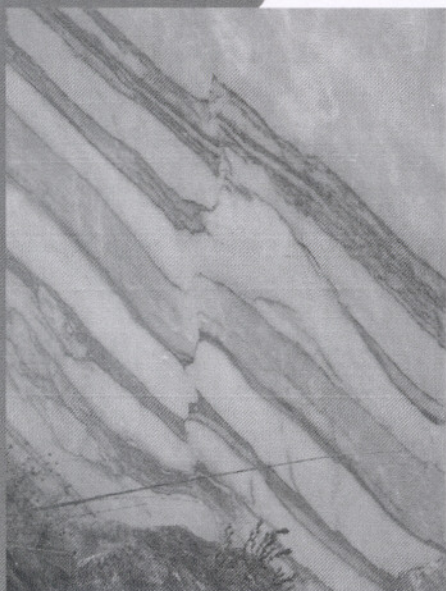


Distribuição esquemática da actividade sísmica na Terra [fonte: CCVE].



## O que é uma falha activa?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Falha inactiva, anterior à  
recristalização de mármore da  
região de Estremoz (imagem de  
Luís Lopes).



Escarpa de uma provável falha activa no Vale do Rio  
Guadiana, região de Capelins; a base da escarpa está  
marcada pela linha a tracejado (imagem do autor).

Uma falha é uma fractura ao longo da qual se observa movimentação relativa, entre as rochas situadas de um e outro lado dessa descontinuidade. O movimento ao longo das falhas, regra geral brusco e descontínuo, é responsável por sismos. Uma falha pode estar relacionada com a actividade tectónica actual e ser activa, ou pode corresponder a uma fractura que teve actividade num passado geológico longínquo e nesse caso deverá ser considerada inactiva.

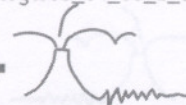
A definição de falha activa varia de autor para autor e frequentemente confunde-se com o risco sísmico que a sociedade (ou uma instituição) está disposta a correr. Este conceito é frequentemente variável em função das estruturas e empreendimentos existentes, ou projectados para uma determinada região.

Para além das falhas com sismicidade histórica ou instrumental associada, consideram-se activas, as falhas que apresentam evidências de deslocamentos suficientemente recentes para que seja expectável a ocorrência de novos deslocamentos num futuro próximo, com impacto na comunidade. Esta definição é demasiado vaga e permite que diferentes análises feitas para uma mesma estrutura geológica, possam levar a conclusões diferentes.

A definição de falha activa pode, de uma forma mais objectiva apoiar-se em critérios cronológicos, considerando, por exemplo, todas as falhas que deslocam referências geológicas com 500.000 anos, ou menos (U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1997). Outra forma de definir falha activa para uma determinada região, sem a rigidez cronológica da definição anterior, será considerar as falhas que apresentam evidências de actividade na dependência do regime tectónico actual.

Outras informações:

[http://geologia.fc.ul.pt/Aulas/Riscos%20Geologicos/  
Apontamentos/Cadeira\\_Riscos\\_Geologicos\\_04\\_05\\_2\\_aula.pdf](http://geologia.fc.ul.pt/Aulas/Riscos%20Geologicos/Apontamentos/Cadeira_Riscos_Geologicos_04_05_2_aula.pdf)



## Há falhas potencialmente activas sem sismos registados em aparelhos e sem sismicidade histórica conhecida?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

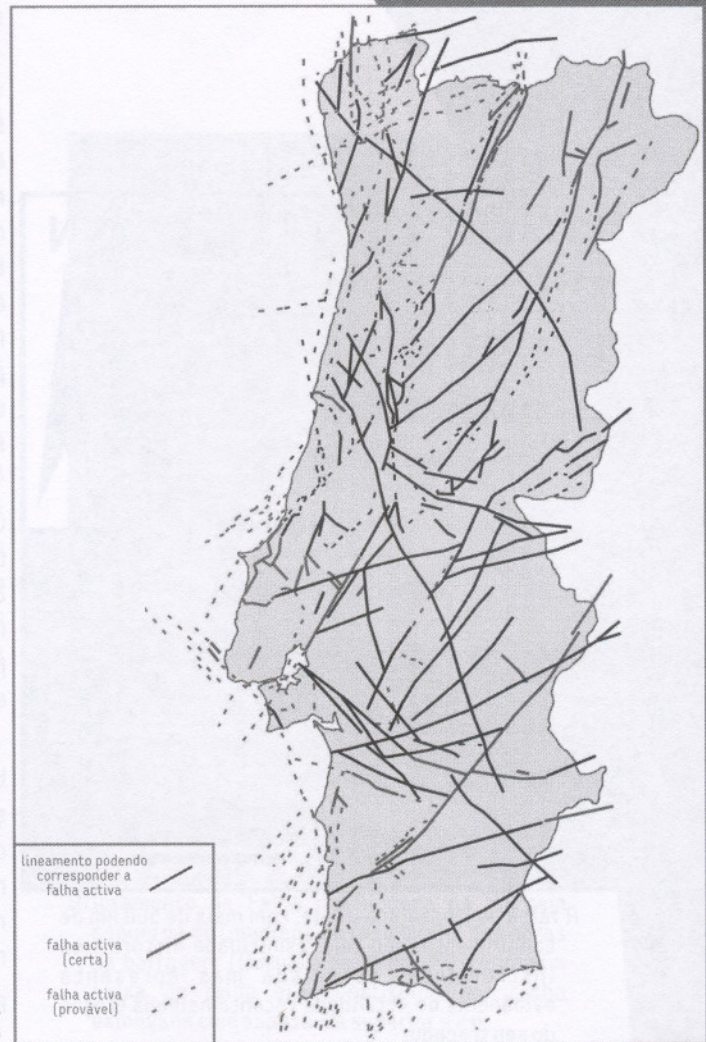
Há claramente falhas nestas circunstâncias. A Carta Neotectónica de Portugal apresenta numerosas falhas, consideradas activas, muitas delas sem uma relação directa com a sismicidade histórica, ou instrumental. Além destes dois critérios, que permitem classificar imediatamente uma falha como activa, existem outros que devem ser levados em conta na identificação de falhas potencialmente activas dos quais destacamos os seguintes:

- Critério estratigráfico Uma falha pode ser considerada activa se deslocar referências geológicas recentes, com idades iguais ou inferiores ao limite temporal considerado na definição de falha activa (por exemplo se deslocar terraços fluviais, aluviões, solos ou outras formações recentes).
- Critério morfológico Uma falha pode ser considerada activa se deslocar a superfície topográfica, originando escarpas ao longo do seu traçado e se essas escarpas não resultarem de fenómenos de erosão diferencial.

O uso destes critérios deve ser sempre complementado com outros métodos de análise, nomeadamente com o recurso a técnicas clássicas da geologia estrutural ou a métodos geodésicos e geofísicos.

### Referências:

CABRAL, J. (1993) - Neotectónica de Portugal Continental. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geodinâmica Interna. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Departamento de Geologia, 435 p.

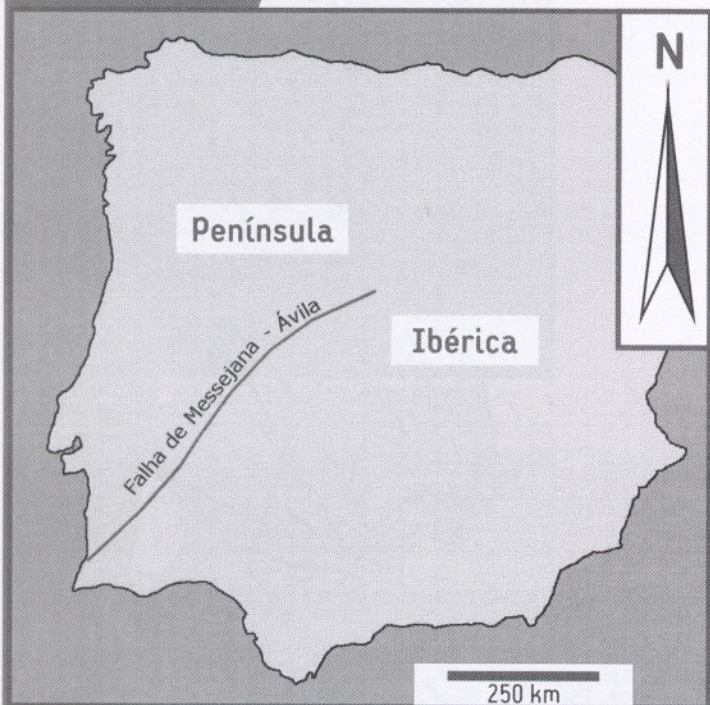


Adaptada de Carta Neotectónica de Portugal  
(Cabral e Ribeiro, 1988).



É possível estimar e/ou prever a actividade de uma falha sem sismos históricos ou instrumentais associados?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



A falha de Messejana-Ávila, com mais de 500 km de comprimento, não tem sismicidade histórica ou instrumental associada mas apresenta evidências de actividade recente nalguns troços do seu traçado.

A previsão da actividade numa falha está relacionada com a previsão sísmica e estes temas correspondem a matérias que se encontram ainda muito longe do rigor desejado por qualquer agente da protecção civil. Se existir um razoável registo histórico e instrumental do comportamento de uma falha, apesar de todas as incertezas, os dados disponíveis poderão permitir fazer algumas projecções do seu comportamento no futuro, mesmo com um grau de incerteza de anos ou décadas, na previsão do próximo evento sísmico e de uma ou duas ordens de grandeza, no que se refere a energia que esse sismo irá libertar.

Apesar das actuais limitações científicas neste domínio, faz sentido estimar parâmetros relacionados com a perigosidade de falhas, mesmo que não tenham actividade histórica. Nestes casos a incerteza é muito maior mas, por vezes, este esforço justifica-se devido à proximidade a estruturas sensíveis (grandes obras de engenharia, pontes, barragens, centrais nucleares).

Nestas situações recorre-se a fórmulas empíricas, baseadas no comportamento de outras falhas com sismicidade conhecida para, a partir de parâmetros como o comprimento da falha e a sua taxa de actividade recente, estimarmos a magnitude do sismo máximo, a ruptura superficial associada e o intervalo de recorrência dos sismos.

#### Referências:

Brum da Silveira, A. P. (2002) Neotectónica e Sismotectónica de um sector do Alentejo Oriental. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geodinâmica Interna, 339 p.



## O que sabemos sobre a falha de Alqueva?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

A falha de Alqueva é claramente uma estrutura secundária, associada a uma outra falha bastante mais importante conhecida pela designação de Falha de Vidigueira-Moura. Estas duas estruturas têm expressão geomorfológica e deslocam a superfície topográfica. A Falha de Vidigueira-Moura é responsável por um desnivelamento superior a 100m e faz o limite entre as chamadas superfícies do Alto e do Baixo Alentejo, ao longo de várias dezenas de quilómetros. A Falha de Alqueva tem uma expressão muito mais modesta, sendo responsável por um desnivelamento topográfico de algumas dezenas de metros, numa extensão inferior a 8 km. Apesar da sua pequena expressão, A Falha de Alqueva cruza o Vale do Rio Guadiana exactamente no sítio onde foi projectada a Barragem de Alqueva. A existência desta estrutura levantou problemas geotécnicos na margem esquerda, durante a construção da barragem que obrigaram a alterações do projecto inicial, com implicações no orçamento da obra. Os parâmetros sismotectónicos estimados para esta falha foram os seguintes:

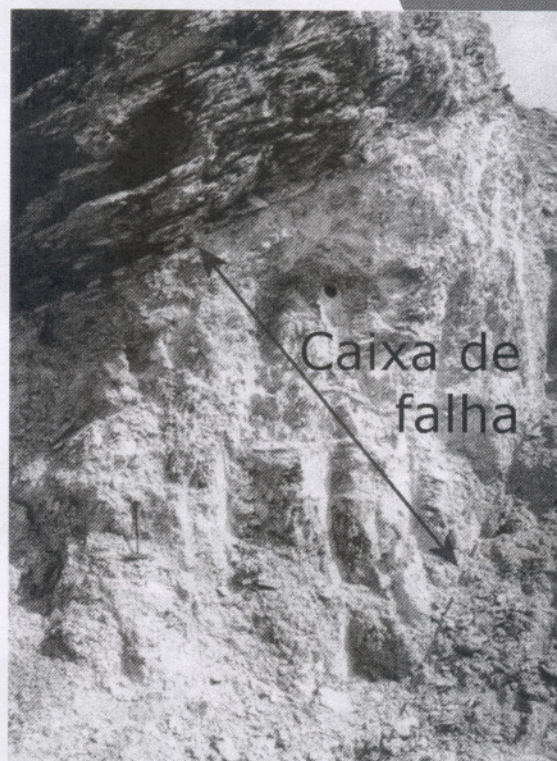
A magnitude do momento sísmico expectável, associada ao sismo máximo que a falha tem capacidade de gerar deverá situar-se próximo de 6 (entre 5,95 e 6,19).

O deslocamento máximo de ruptura superficial deverá estar compreendido entre 25 e 34 cm.

O intervalo de recorrência do sismo máximo deverá estar compreendido entre 5600 e 13200 anos.

### Referências:

BRUM DA SILVEIRA, A.; CABRAL, J.; ARAÚJO, A. & ESPINHA MARQUES, J. (1998) A Falha de Alqueva (Alentejo): um exemplo de falha activa normal em regime tectónico compressivo. *Geologos*, Departamento de Geologia e Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2, pp. 137-140.

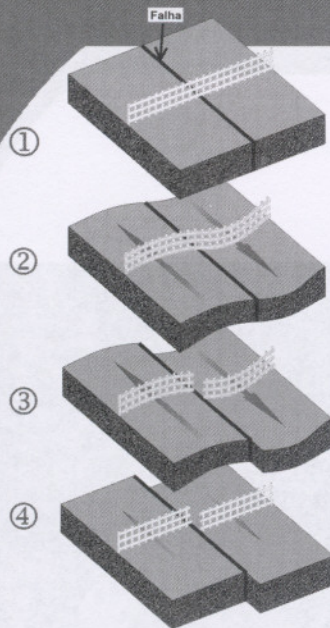


Afloramento da Falha de Alqueva na margem esquerda do Guadiana na fase inicial das obras da barragem (Outubro de 1996). Neste local a caixa de falha era constituída por rocha esmagada com espessura superior a 2 m.

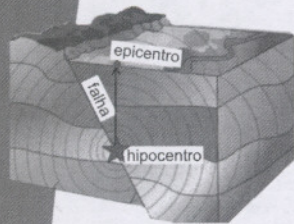


O que é um sismo?

Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Modelo do ressalto elástico: 1-Situação inicial; 2-actuação de forças que deformam as rochas do meio; 3- atingido o limite de resistência dos materiais ocorre a ruptura; 4- as rochas perdem parte da deformação



Parâmetros focais dos sismos.

Sismos são movimentos rápidos de partes de crosta terrestre produzidos no decurso da quebra das ligações (ruptura) de rochas deformadas pela actuação continuada de forças. Quando o material geológico de determinada região crustal, com propriedades elásticas, está sujeito a tensões, deforma elasticamente enquanto acumula energia. Se a deformação for continuada, a certa altura os materiais atingem o limite de resistência e rompem, libertando em escassos instantes grande parte da energia acumulada durante longos períodos. O processo descrito estabelece o modelo de formação dos sismos aceite, conhecido por modelo do **Ressalto Elástico**. Os locais mais favoráveis para a ocorrência de sismos, também denominados regiões sismogénicas, são aqueles em que a acumulação de tensões é maior e a capacidade dos materiais para as suportar é menor. Esses locais encontram-se predominantemente em falhas geológicas nos limites das placas tectónicas ou em regiões vulcânicas, daí a predominância de sismos nessas zonas.

O local do interior da crosta onde a ruptura começa é chamado **hipocentro** ou foco do sismo; a posição à superfície que fica na vertical do hipocentro é denominada por **epicentro**.

O mecanismo dos deslizamentos do material geológico durante os sismos é determinado fundamentalmente pelas forças envolvidas e pela geometria das falhas onde o sismo ocorre. Quando as forças são compressivas na região focal numa falha inclinada, os movimentos ocorrem no sentido de produzir a subida de um bloco sobre o outro (**falha inversa**); quando as forças envolvidas são distensivas na região focal dilatando-a e a falha é inclinada, os movimentos ocorrem no sentido da descida do bloco superior sobre o inferior (**falha normal**); quando um dos blocos adjacentes à falha desliza segundo a horizontal em relação ao outro formam-se os denominados **desligamentos**.



Tipo de mecanismos focais dos sismos.



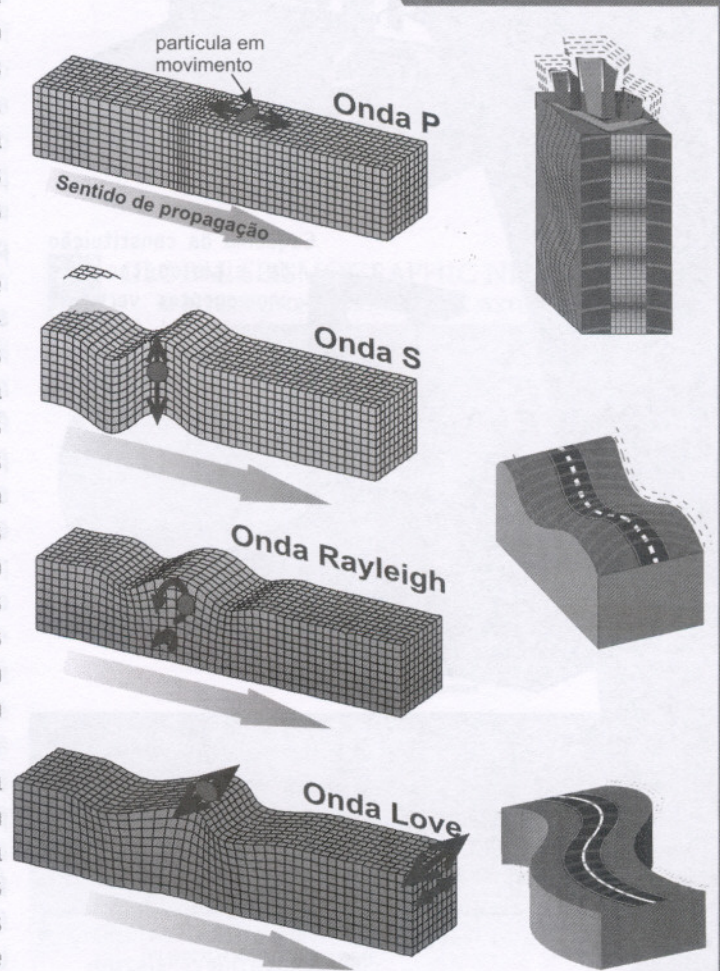
Como é que zonas afastadas da fonte sísmica são atingidas?

Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Uma consequência do rápido deslizamento de matéria que ocorre no processo de ruptura é a formação de ondas mecânicas que se propagam em todas as direcções pelo interior do planeta, onde vão sendo modificadas pelas estruturas que encontram até atingirem a superfície sacudindo-a. Assim, qualquer ponto atingido por ondas sísmicas fica sujeito a movimentos definidos pela combinação dos processos de ruptura produzidos na fonte com as estruturas atravessadas por essas ondas.

As ondas sísmicas que emergem à superfície provenientes de uma fonte sísmica - ondas de volume - são de dois tipos. As que chegam primeiro, ondas primárias ou P, são ondas que se propagam no sentido da vibração que produzem, como as ondas sonoras - ondas longitudinais. As segundas a chegar, ondas secundárias ou S, propagam-se transversalmente à vibração produzida como as ondas do mar são ondas transversais. As ondas P têm velocidades de propagação entre 6km/s e 8 km/s; as ondas S propagam-se mais lentamente, com velocidades entre 3km/s e 4.5 km/s. As ondas P propagam-se tanto em meio sólido como em meio líquido; contrariamente, as S, apenas se propagam em meio sólido.

As oscilações produzidas na superfície livre da terra em consequência da chegada das ondas de volume geram outro tipo de ondas sísmicas que se propagam pela superfície e por isso são conhecidas por ondas superficiais. Existem dois tipos destas ondas - ondas Rayleigh e ondas Love. As ondas Rayleigh propagam-se de forma semelhante às ondas do mar, provocando movimentos circulares ou de oscilação vertical nas partículas das superfícies que atravessam, as ondas Love provocam nas partículas da superfície que atravessam, movimentos de oscilação horizontal perpendiculares à direcção de propagação.



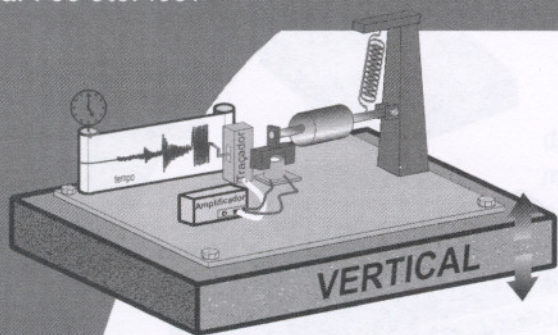
Esquema dos deslocamentos sofridos pelas partículas do meio à passagem dos vários tipos de ondas sísmicas: P, S, Rayleigh e Love (imagens dos autores).



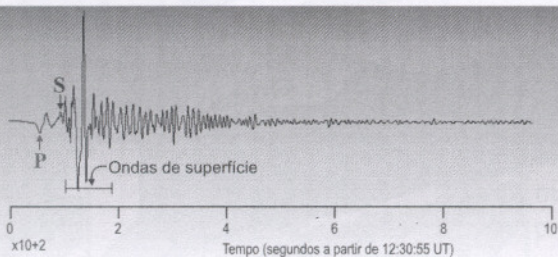
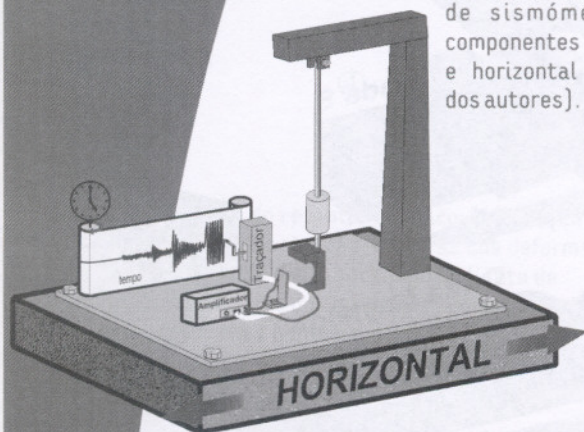


Como se registam os sismos?

Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Esquema da constituição de sismómetros de componentes verticais e horizontal (imagens dos autores).



Sismograma com indicação das fases P, S e superficiais (imagens dos autores).

Os movimentos elásticos da superfície, induzidos pelas ondas sísmicas, por mais imperceptíveis que sejam podem ser medidos com sismómetros. As partes fundamentais que compõem os sismómetros são um pêndulo estacionário, um sistema de medição de movimentos e um registador de tempo. Assim, quando o sistema de fixação do pêndulo se move à passagem das ondas sísmicas, a massa, devido à sua inércia, tende a permanecer na posição em que estava. Este movimento relativo entre a massa e a base do sismómetro é medido e registado em suporte próprio. Os primeiros sistemas de medição eram mecânicos e o registo feito em papel; actualmente as medições são electromagnéticas e o registo é feito em formato digital. Para que se possam estudar com precisão os movimentos do solo produzidos pelas ondas sísmicas, os observatórios sísmicos são habitualmente equipados com sismómetros de três componentes (3 pêndulos), uma vertical e duas horizontais ortogonais entre si (norte-sul e este-oeste).

O registo temporal dos movimentos medidos por um sismómetro é o sismograma. Através da observação do sismograma é possível identificar e medir o tempo e as amplitudes das várias ondas que chegam ao sismómetro, a partir do foco, seguindo uma multiplicidade de percursos que dependem da velocidade de propagação nos meios que atravessam. A essas ondas chamam-se fases e tem uma nomenclatura própria (ex. P, PP, PPP, S SP, SPP...). A partir de sismogramas de boa qualidade, utilizando as metodologias de cálculo adequadas, é hoje possível não só construir modelos pormenorizados da fonte sísmica como construir imagens tomográficas do interior da Terra, fazer pesquisa arqueológica ou prospecção de petróleo.



## Que redes sísmicas temos?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

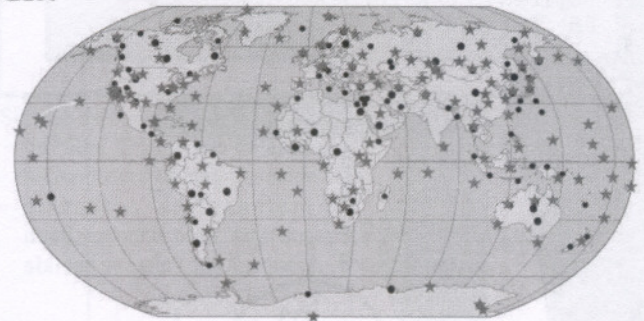
Os dados recolhidos pelas redes sísmicas mundiais tem como objectivo a localização dos hipocentros, a medição da magnitude (e/ou momento sísmico) do evento assim como permitir a análise da estrutura interna do globo.

Hoje em dia um sismo é registrado por milhares de estações sísmicas instaladas em todo o mundo. Existem diferentes tipos de redes: redes locais, regionais e globais. As redes locais permitem localizar os sismos locais de fraca magnitude e de conhecer a microsismicidade da zona como, por exemplo, a rede do Centro de Coordenação de Vigilância Sismológica dos Açores (SIVISA). Esta rede local é constituída de 29 estações sísmicas de curto período e uma de longo período. O objectivo do SIVISA é a determinação do hipocentro e a magnitude dos sismos que ocorrem nas ilhas dos Açores; o que permite realizar uma base de dados e boletins sismológicos contendo todos os sismos localizados no arquipélago.

As redes regionais e globais permitem localizar os sismos de magnitude moderada e forte. A rede de vigilância sismológica de Portugal continental é constituída por 24 estações digitais. Os dados obtidos [tempo de chegada da onda, amplitude máxima e forma da onda] das redes sísmicas permitem traçar o mapa sísmico para identificar as falhas tectónicas responsáveis pelos sismos. Em Portugal, o Instituto de Meteorologia (IM, através do seu serviço de sismologia) é responsável pela vigilância sismológica do território nacional. Nos anos 70 a localização dos sismos permitiu observar que a maior parte da actividade sísmica do planeta se concentra ao longo de bandas estreitas que coincidem com os limites de placas.



### GLOBAL SEISMOGRAPHIC NETWORK & INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM (IMS)



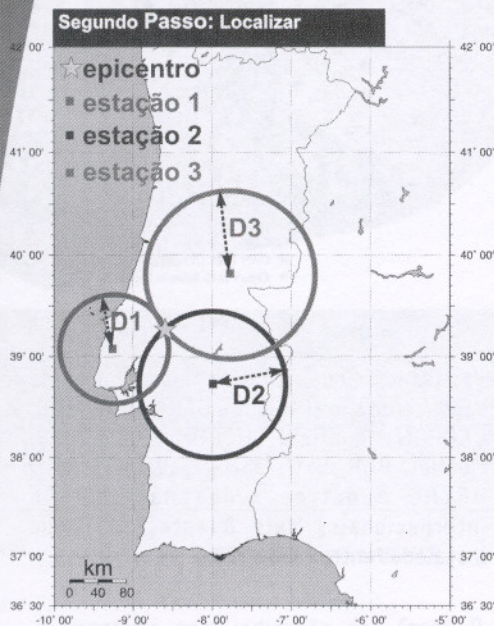
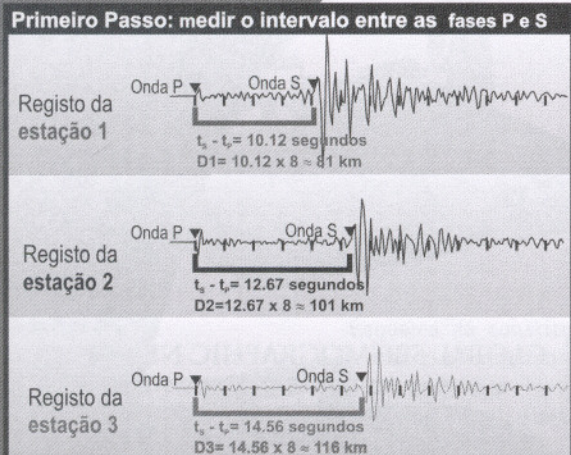
- ★ GSN
- ★ GSN IMS Designated Stations
- Other IMS Seismic Stations

Rede sísmica global. 128 estações sísmicas de banda larga são afiliados à USGS, UCSD/IDA, GEOFON, Pacific21, NCDSN, GEOSCOPE, MedNet, BGR, BFO, USNSN, BDSN, TriNet, AFTAC e outras redes nacionais e internacionais. Mais 8 estações foram instaladas entre 2003 e 2005.



Como se localizam os sismos?

Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Aplicação do método de triangulação à localização de um epicentro (imagem dos autores).

Quando um sismo é registado por um conjunto de sismómetros, a primeira utilização que se faz desses dados é a localização do hipocentro. É uma informação fundamental para o conhecimento do sismo e está na base de estudos mais avançados. Pela sua importância existem actualmente no mundo um conjunto de instituições governamentais que o fazem por rotina e divulgam praticamente em tempo real para todos os eventos registados em quase todas as redes sismológicas. Em Portugal essa tarefa é da responsabilidade do Instituto de Meteorologia.

Nestas instituições a localização é um processo praticamente automatizado. Os sismogramas das estações da rede chegam ao observatório em tempo real onde observadores treinados identificam (picam) as fases e medem as amplitudes. Esses dados são introduzidos nas rotinas de cálculo automático que, por utilização de métodos numéricos, determinam com precisão a localização do hipocentro.

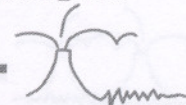
A localização dos sismos é uma realização que pode ser efectuada por processos que não exigem a sofisticação dos métodos numéricos actuais. Do registo de uma única estação sísmica é possível obter uma medida do intervalo de tempo entre a chegada das fases P e S,  $(t_s - t_p)$ , com a qual se pode obter a distância aproximada, D, entre a estação considerada e o epicentro, multiplicando o intervalo entre fases (S-P) por 8 km/s.

$$D = (t_s - t_p) \times 8 \text{ (km)}$$

Traçando sobre um mapa, uma circunferência centrada na estação e com raio igual à distância obtida, cada ponto dessa circunferência é uma posição candidata para o epicentro. Para levantar a indeterminação é necessário arranjar pelo menos mais duas estações, onde o procedimento é repetido. O epicentro estará na região de intercepção das três circunferências.

Outras informações:

[http://www.meteo.pt/Sismologia/epicent\\_2.htm](http://www.meteo.pt/Sismologia/epicent_2.htm)



## O que é a magnitude de um sismo?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Em 1935, Charles F. Richter criou a primeira escala de magnitude de forma experimental. A definição original da magnitude de Richter foi feita a partir de um sismómetro colocado a uma distância epicentral de 100 km. Mas como os sismos ocorrem a distâncias variáveis dos sismómetros, foi adicionada uma constante para compensar o aumento da atenuação do sinal sísmico com a distância. Richter definiu a magnitude local para a Califórnia com a seguinte relação:

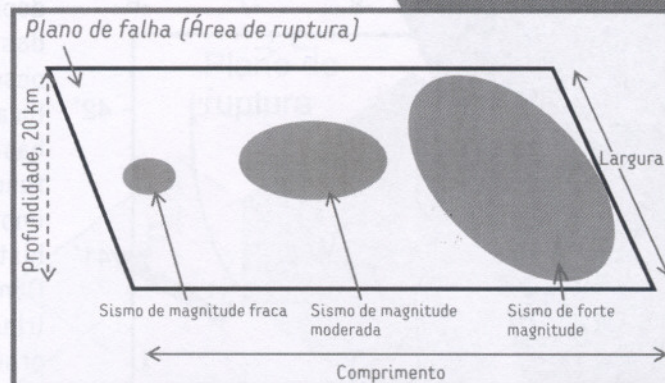
$$M_L = \text{Log } A - \text{Log } A_0$$

em que  $A$  é a amplitude máxima do sinal sísmico registrado a uma distância  $\Delta$  do epicentro e  $A_0$  a amplitude máxima do registo de um sismo de referência quando à mesma distância do sismo a estudar. Os valores de  $A_0$  em função de  $\Delta$  foram determinados de forma empírica a partir de sismos da Califórnia. A escala de Richter está graduada até ao grau 9, o maior sismo admitido na Terra, na altura.

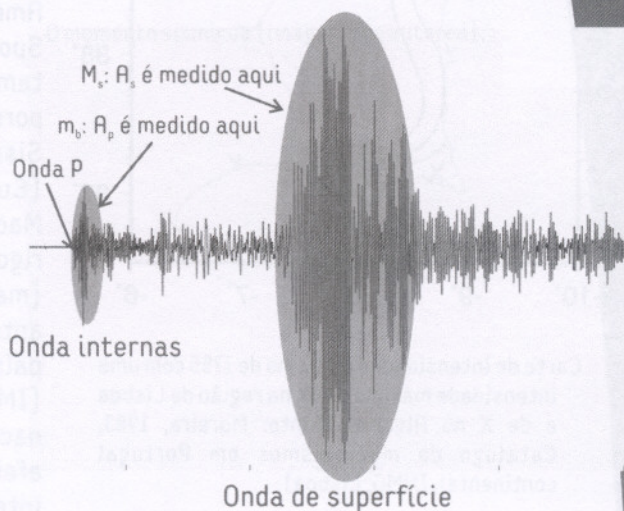
Depois de Richter foram propostas várias fórmulas de magnitude [ver tabela]. Basicamente, as diferenças entre elas baseiam-se na forma de medir as amplitudes nos sismogramas, bem como as durações dos registos.

A diferença é, por vezes, significativa...

Magnitude	Símbolo	Onda
Local (Richter)	$M_L$	S ou ondas de superfície
Ondas internas	$m_b$	p
Ondas de superfície	$M_s$	Rayleigh
Duração	$M_D$	Ondas Internas
Momento	$M_w$	Área de ruptura, deslizamento

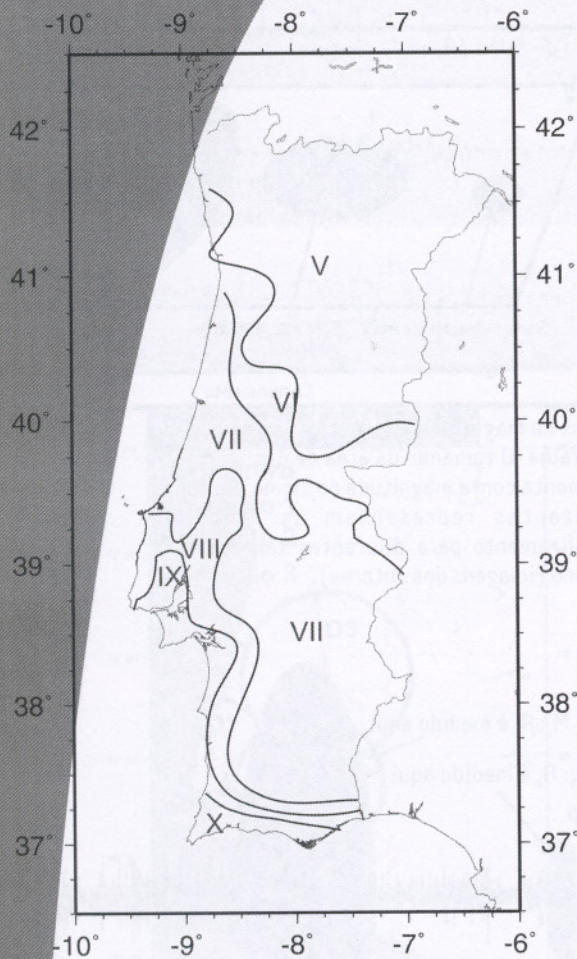


Sismos de magnitude diferente no mesmo plano de falha. O tamanho da área de deslizamento aumenta com a magnitude do sismo. As zonas cinzentas representam as áreas de deslizamento para diferentes tamanhos de sismo [imagens dos autores].



O que é a intensidade sísmica?

Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Carta de intensidades do sismo de 1755 com uma intensidade máxima de IX na região de Lisboa e de X no Algarve [fonte: Moreira, 1983, Catalogo de macrosismos em Portugal continental, INMG, Lisboa].

Ao longo da história da sismologia, várias escalas de intensidades foram utilizadas para avaliar os danos causados pelos sismos. Esta avaliação depende de contingências particulares como a resistência das construções e a perspicácia e objectividade do observador. Por isso, o valor de intensidade atribuído localmente por um observador é muito subjectivo visto basear-se unicamente na sua observação e não em qualquer fundamento físico. Por outro lado a escala de intensidade é importante para avaliar os sismos, em particular os sismos históricos. O primeiro físico a avaliar os sismos foi o italiano Domenico Pignataro nos anos 1783-1786. O segundo foi o irlandês Robert Mallet no século XIX. O engenheiro R. Mallet produziu uma lista de 6831 sismos classificados segundo uma escala de 4 classes para descrever os danos (4 graus). No fim do século XIX, apareceu a escala dita de Rossi-Forel, pelas mãos de M.S. de Rossi e de F. Forel, de 10 graus. O sismólogo italiano G. Mercalli, no ano 1902, idealizou uma escala de 12 graus conhecida pelo nome escala Mercalli. A escala de Mercalli foi modificada, passando a ser designada por MM e adaptada em 1931 às construções nos Estados Unidos de América. Em 1964, a escala MSK (dos nomes de Medvedev, Sponheuer e Karnik) foi introduzida na Europa. Esta escala também de 12 graus é diferente da escala MM somente nos pormenores. Finalmente em 1992, a Comissão Europeia de Sismologia introduziu uma nova escala chamada EMS (European Macroseismic Scale). A Escala Europeia Macrosísmica, de 1992, baseia-se na escala MSK mas é mais rigorosa e sobretudo tem em conta a vulnerabilidade (material e método de construção) das diferentes estruturas antigas e modernas. Hoje em dia esta escala é aplicada pelos países europeus. Em Portugal, o Instituto de Meteorologia (IM) está encarregado da vigilância sísmica do Território nacional. Um inquérito, realizado pelo IM, permite estimar o efeito local, e através a escala de intensidades, o grau de intensidade do sismo na localidade abalada. O resultado do inquérito permite traçar o mapa de intensidades incluindo toda a zona que foi abalada pelo sismo.



## Por que os sismólogos preferem utilizar o momento sísmico para estabelecer a grandeza dos sismos?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

O momento sísmico ( $M_0$ ), definido por Keiti Aki em 1966, é o melhor parâmetro para medir a dimensão de um sismo. Pois a sua determinação é totalmente independente do tipo de instrumento ao contrário das magnitudes que são determinadas empiricamente. De uma forma simples podemos definir o momento sísmico como a medida quantitativa da força e do movimento envolvidos no sismo, ou seja, é a dimensão que relaciona o sismo com as forças (par) aplicadas de cada lado dos 2 blocos da falha e que provocaram um deslizamento ao longo do seu plano de falha. Esta grandeza exprime-se em unidades Newton-metros, Simplificando os complexos cálculos matemáticos, o momento sísmico escreve-se como o produto da rigidez das rochas pela área da falha e pelo deslocamento médio, ou seja:

$$M_0 = \mu D A$$

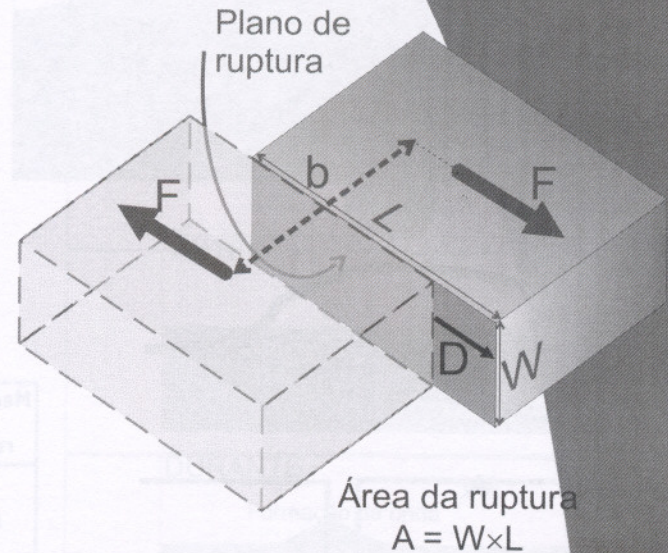
em que  $\mu$  é a rigidez,  $D$  o deslocamento médio e  $A$  a área ao longo do plano de falha de comprimento  $L$  e largura  $W$ . Esta relação pode ser aplicada utilizando dados medidos à superfície da falha.

O momento sísmico é calculado através da forma de onda registada pelo sismómetro. Os métodos utilizados são baseados na modelação ou inversão da forma de onda.

Os sismólogos desenvolveram, nos últimos 20 anos, uma escala de magnitude standard completamente independente do tipo de instrumento. Esta escala, introduzida por Hiroo Kanamori em 1979, é chamada magnitude momento [ $M_w$ ] e é calculada a partir do

$$M_w = 2/3 \log_{10} M_0 - 10.7$$

Há mais de 20 anos que esta escala [ $M_w$ ] é utilizada para classificar os telessismos (sismos longínquos) com  $M_w > 5.5$ .

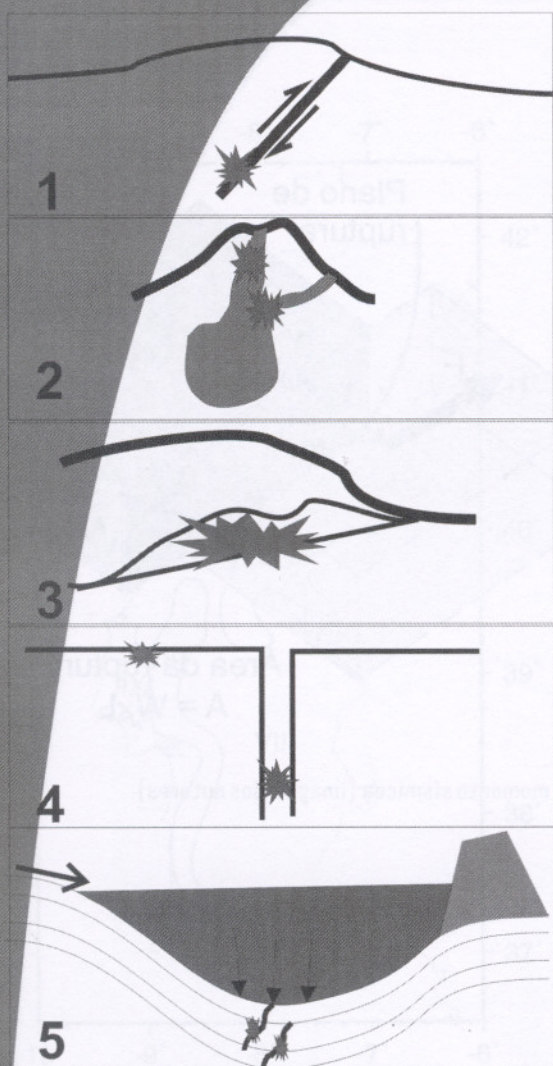


O momento sísmico (imagem dos autores).



Que tipos de sismos existem?

Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo



- 1) Sismo tectónico (falha activa);
- 2) Sismo vulcânico;
- 3) Sismos de origem gravítica (derrocada de cavidade);
- 4) Sismos artificiais (explosões);
- 5) Sismos induzidos (enchimento de barragens) [imagem dos autores].

Os sismos têm várias origens e são classificados segundo a sua natureza. São conhecidos sismos com causas naturais, como os tectónicos, os vulcânicos ou os provocados por derrocadas e os artificiais, provocados pela intervenção humana, como explosões nucleares ou químicas, mineração, enchimento de barragens, etc.. Os sismos tectónicos, os mais comuns, são bem explicados pela tectónica das placas. Os sismos vulcânicos, que acompanham as erupções, servem para a previsão destas. Excepto os provocados por explosões nucleares, os sismos artificiais são em geral de fraca magnitude.

Mecanismo de ruptura	Sismos naturais		Sismos artificiais	
Falha	Sismos tectónicos:	Ruptura das rochas	Sismos induzidos:	barragem exploração de gás, etc.
Explosão	Sismos vulcânicos:	Fracturação das rochas devido à penetração dos magmas		Tiros durante as explorações sísmicas.
		Desgasificação, oscilação própria do reservatório	Tiros de minas e pedreiras.	
Implosão	Sismos de origem gravítica:	Derrocadas de grutas em rochas evaporíticas ou carbonatadas	Ensaios nucleares subterrâneos	
			Derrocadas de antigas minas.	

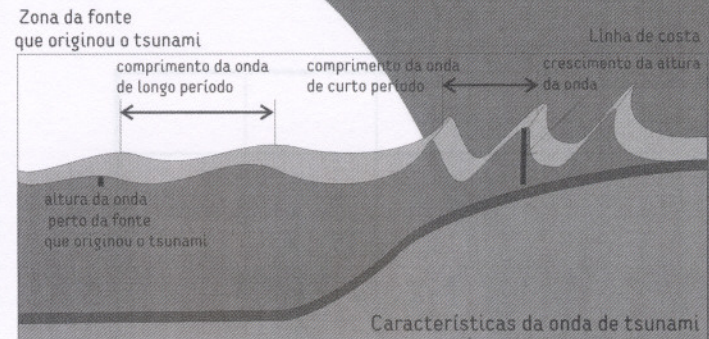


## O que é um Tsunami?

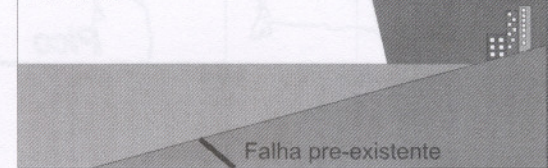
Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

O tsunami (em português maremoto), é um nome de origem japonesa para designar ondas oceânicas gigantes que possuem comprimento de onda que varia de 130 a 160 quilómetros e que podem atingir até varias centenas de quilómetros. São ondas que têm período que varia entre 15 minutos até mais de 120 minutos e velocidades de propagação maiores que 500 km/h, alcançando até 1000 km/h. Estas ondas de grandes amplitudes e destrutivas nas linhas de costa, podem ser causadas por terremotos, deslizamento de terra, vulcões submarinos em actividade e impactos de meteoritos. Uma forte explosão (ex: uma bomba atómica) na superfície do mar também pode provocar ondas gigantes. É no Oceano Pacífico onde ocorreram a maioria dos tsunamis, por ser uma área cercada por actividade vulcânica e frequentes abalos sísmicos. Desde o Japão até ao Alasca (norte do Oceano Pacífico) existe uma faixa de maior ocorrência de sismos e erupções vulcânicas que originariam os tsunamis mais frequentes do nosso planeta. No Atlântico os tsunamis são muito raros.

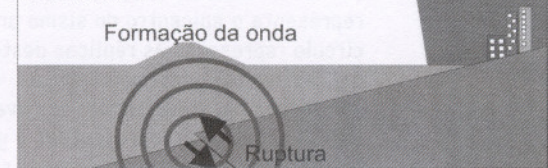
Em águas profundas (no oceano, longe das linhas de costa), a altura das ondas é fraca (um metro no máximo) mas com um grande comprimento. Em águas rasas (próximo das linhas de costa) as ondas têm um comprimento reduzido e altura aumentada, podendo atingir 40 metros de altura (ex: explosão vulcânica do Krakatoa, em 1883). A onda causada pelo terramoto de 1 de Novembro de 1755 atingiu uma altura de 5 a 12 metros em Lisboa, e causou mais vítimas que o próprio sismo.



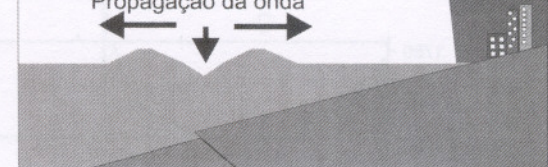
ANTES



DURANTE



APÓS

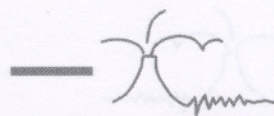


INUNDAÇÃO DO LITORAL

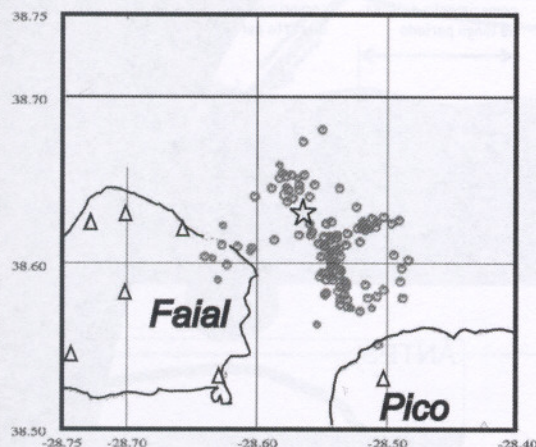


Características de uma onda de tsunami -em cima- e tsunami gerado por uma ruptura tectónica -em baixo; (imagens dos autores).

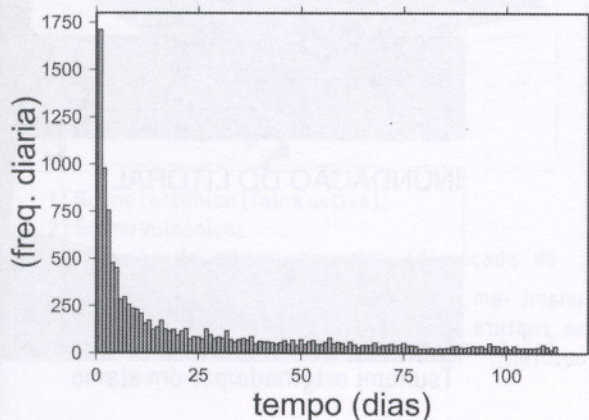
Tsunami originado por um sismo





O que são sismos  
percussores e réplicas?Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Em cima é representado o mapa das réplicas do sismo do Faial de 9 de Julho de 1988. A estrela representa o epicentro do sismo principal, o círculo representa as réplicas deste sismo e os triângulos representam as estações empregues nas localizações dos eventos. Em baixo encontra-se representado o gráfico da frequência diária de réplicas deste sismo.

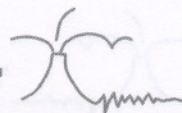


**P**recursosores e réplicas são termos que se interrelacionam. Eventos precursosores são aqueles que precedem imediatamente um sismo de grande magnitude numa dada região. Réplicas são sismos que geralmente ocorrem nos dias que se seguem a um sismo de grande magnitude, ou sismo principal. Não há nada que possibilite distinguir um evento principal duma réplica, pois as réplicas de um sismo de grande magnitude podem ter uma magnitude superior à magnitude de um evento de moderada.

Em geral, as réplicas correspondem a reajustes numa determinada falha que sofreu um deslizamento aquando da ocorrência de um importante sismo. Existem muitas mais réplicas pequenas do que grandes e a sua frequência temporal decresce com o inverso do tempo segundo uma lei denominada por lei de Lei de Homori. A diferença de magnitude entre o sismo principal e a réplica mais forte varia, no entanto o valor médio dessa diferença é 1.2).

As réplicas poderão ser tão intensas ao ponto de produzir grande destruição, sobretudo em estruturas já bastante fragilizadas pelo sismo principal. Por esse motivo devem tomar-se especiais cuidados nos dias seguintes a um grande sismo. O intervalo de tempo entre o grande sismo e a maior réplica é variável, Este período é tipicamente inferior a um dia, contudo, podem ocorrer grandes réplicas, mesmo alguns anos após o sismo principal.

Os eventos precursosores podem ocorrer individualmente ou em grupos mas na esmagadora maioria dos casos não são registados antes de um importante sismo (em geral os sismos não se fazem anunciar). Este é um facto muito importante, pois inviabiliza qualquer hipótese de os tomar com preditores de um grande evento.



## O que são crises sísmicas?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

O termo crise sísmica não se encontra consagrado na literatura científica, no entanto é frequentemente empregue para designar uma actividade sísmica anormal que se destaca claramente da sismicidade média de uma dada região. Este termo é também usualmente empregue para designar a sismicidade associada à actividade vulcânica.

Importa, no entanto, caracterizar os diferentes padrões de actividade sísmica, que são de três tipos, a saber:

- A- Sismo principal associado a eventos precursoros e réplicas
- B- Sismo principal não precedido de eventos precursoros
- C- Sequência de sismos caracterizada pela ausência de um evento dominante designada por enxame [*swarm* em terminologia anglo-saxónica]

Frequentemente, o termo crise sísmica é empregue para designar somente um padrão de actividade do tipo C.

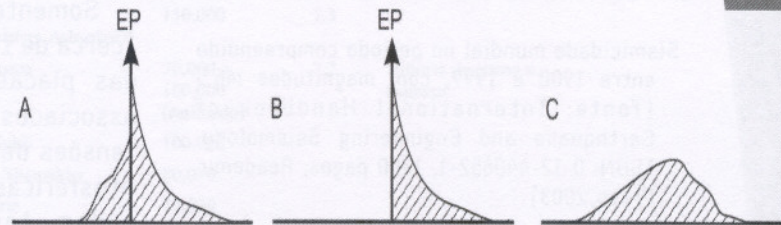


Ilustração dos três tipos de sequências sísmicas (A, B e C). Os gráficos representam o número de sismos por intervalo de tempo em função do tempo (por exemplo intervalos de um dia). EP designa evento principal. (imagens dos autores).



Onde acontecem os sismos?

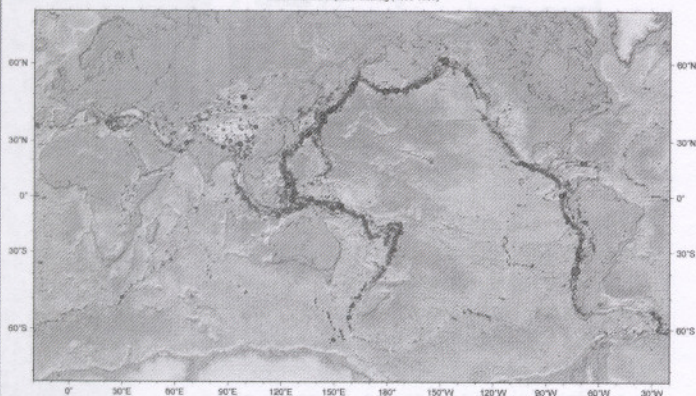
Mourad Bezzeghoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Os sismos podem ocorrer em qualquer parte do mundo, no entanto a larga maioria destes (cerca de 90%) localiza-se na fronteira das placas tectónicas cujos epicentros se distribuem por uma superfície que cobre 10% da área total do planeta.

Cerca de 75% da totalidade da energia sísmica é libertada numa vasta região que limita o pacífico designada por Anel de Fogo do Pacífico na qual a placa do Pacífico mergulha sob a crosta continental. Trata-se de uma estreita banda de sismicidade de 40,000 km de comprimento que passa pela costa ocidental do continente americano, prolonga-se para o Alasca, Japão, China, Filipinas, Indonésia e Austrália. Outra faixa de intensa sismicidade (cerca de 15% de toda a sismicidade mundial) encontra-se associada à zona de colisão entre as placas Euro-asiática e Africana e Indo-Australiana, definindo uma banda de sismicidade que se estende desde a Fossa de Sumatra, passando pelos Himalaias, Cáucaso e Mediterrâneo.

Somente uma reduzida percentagem dos sismos (cerca de 10% da sismicidade global) ocorre no interior das placas tectónicas e encontram-se geralmente associados a zonas de fragilidade que respondem às tensões desenvolvidas quer nas fronteiras das placas litosféricas, quer na crosta, em profundidade. Os sismos podem também surgir associados à actividade vulcânica, no entanto este tipo de eventos não ultrapassa as magnitudes moderadas.

Centennial Earthquake Catalog (1900-1999)



Sismicidade mundial no período compreendido entre 1900 e 1999, com magnitudes M6.5 [fonte: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, ISBN: 0-12-440652-1, 1200 pages, Academic Press, 2003].



## Quais os sismos mais destrutivos?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

A distribuição espacial dos sismos a nível global define os limites das "placas tectónicas" que dividem a Terra. Existe uma sismicidade difusa fora desses limites (sismicidade intraplacas), contudo a esmagadora maioria dos sismos (95%) corresponde a sismicidade interplacas. Também é nas fronteiras de placas que tem lugar a maior parte da actividade vulcânica. Sabemos que se produzem cerca de 500.000 sismos por ano, mas só cerca de 1.000 são potencialmente capazes de induzir danos significativos.

## Sismos mais destrutivos conhecidos no Mundo (com 50000 ou mais mortos)

Data	Local	Mortos	Magnitude	Comentário
23 Janeiro 1556	China, Shansi	830,000	~8	
<b>26 Dezembro 2004</b>	<b>Sumatra, Indonesia</b>	<b>283,106</b>	<b>9.3</b>	<b>Vitimas de sismo e tsunami.</b>
27 Julho 1976	China, Tangshan	255,000 (oficial)	7.5	Numero estimado de mortos: mais de 655,000.
9 Agosto 1138	Síria, Aleppo	230,000		
22 Maio 1927	China, junto de Xining	200,000	7.9	Grandes fracturas
22 Dezembro 856 AC	Irão, Damghan	200,000		
16 Dezembro 1920	China, Gansu	200,000	7.8	Grandes fracturas e abalos de terra
23 Março 893 AC	Irão, Ardabil	150,000		
1 Setembro 1923	Japão, Kanto (Kwanto)	143,000	7.9	Grande incêndio de Tóquio.
5 Outubro 1948	USSR (Turkmenistan, Ashgabat)	110,000	7.3	
28 Dezembro 1908	Itália Messina	70,000 a 100,000 (estimado)	7.2	Vitimas de sismo e tsunami.
Setembro 1290	China, Chihli	100,000		
Novembro 1667	Caucasia, Shemakha	80,000		
18 Novembro 1727	Irão, Tabriz	77,000		
<b>1 Novembro 1755</b>	<b>Portugal, Lisboa</b>	<b>70,000</b>	<b>8.7</b>	<b>Grande tsunami.</b>
25 Dezembro 1932	China, Gansu	70,000	7.6	
31 Maio 1970	Peru	66,000	7.9	\$530,000,000 Danos, derrocadas de rochas, inundações.
1268	Ásia Menor, Cilicia	60,000		
11 Janeiro 1693	Itália, Sicília	60,000		
30 Maio 1935	Paquistão, Quetta	30,000 to 60,000	7.5	Quetta quase totalmente destruída
4 Fevereiro 1783	Itália, Calabria	50,000		
20 Junho 20 1990	Irão	50,000	7.7	Abalos de terra.

Fonte: USGS (2005)



Quais os sismos  
de maior magnitude?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Em média ocorre nalguma parte do mundo  
entre 1 e 2 sismos de magnitude superior a 8  
por ano.

### Sismos de forte magnitude desde 1900

Local	Data	Magnitude	Lat.	Long.	Reference
Chile	1960 05 22	9.5	-38.24	-73.05	Kanamori, 1977
Prince William Sound, Alaska	1964 03 28	9.2	61.02	-147.65	Kanamori, 1977
Sumatra, Indonesia	2004 12 26	9.3	3.30	95.78	PDE
<u>Kamchatka</u>	1952 11 04	9.0	52.76	160.06	Kanamori, 1977
Margem do Ecuador	1906 01 31	8.8	1.0	-81.5	Kanamori, 1977
Sumatra, Indonésia	2005 03 28	8.7	2.08	97.01	PDE
Ilhas Rat, Alaska	1965 02 04	8.7	51.21	178.50	Kanamori, 1977
Ilhas Andreanof, Alaska	1957 03 09	8.6	51.56	-175.39	Johnson, 1994
Assam - Tibet	1950 08 15	8.6	28.5	96.5	Kanamori, 1977
Ilhas Kuril	1963 10 13	8.5	44.9	149.6	Kanamori, 1977
Mar Banda, Indonésia	1938 02 01	8.5	-5.05	131.62	Kanamori, 1977
Kamchatka	1923 02 03	8.5	54.0	161.0	Kanamori, 1988

Fonte: USGS (2005)



Valdivia, a proximidade do epicentro do sismo de Chile de 1960, sofreu danos catastróficos [USGS].

#### Referências:

- Johnson, J.M., Y. Tanioka, L.J. Ruff, K. Sasaki, H. Kanamori, and L.R. Sykes [1994] - The 1957 great Aleutian earthquake, Pure and Appl. Geophys., 142, 3-28.
- Kanamori, H. [1977] - The energy release of great earthquakes, J. Geophys. Res. 82, 2981-2987.
- PDE [Preliminary Determination of Earthquakes] Monthly Listing, U.S. Geological Survey, Golden, CO. [2005].



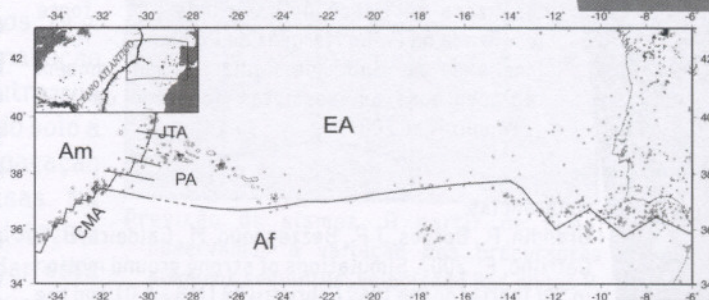
## Onde ocorrem sismos em Portugal?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

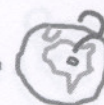
A actividade sísmica em Portugal pode considerar-se moderada e apresenta uma grande diversidade, contudo, ela pode ser explicada em função do contexto tectónico em que se inserem as regiões que compõem o nosso território.

Nos Açores encontram-se nas proximidades da confluência de três placas litosféricas (Junção Tripla dos Açores [JTA] as quais estão sujeitas a taxas de expansão máximas de 0,7cm/ano. Embora estes valores de expansão sejam reduzidos, eles são responsáveis por alguns eventos sísmicos capazes de produzir elevados danos materiais e humanos. A sismicidade nesta região segue aproximadamente uma estreita faixa coincidente com a localização das ilhas. A magnitude dos sismos é, em geral, reduzida a moderada (magnitude inferior a 6).

Em Portugal continental podemos considerar que a distribuição dos epicentros se concentra essencialmente no Sul de Portugal continental e na margem oceânica adjacente. Esta região apresenta uma actividade sísmica caracterizada por eventos de magnitude moderada ( $M < 5$ ) e, ocasionalmente, alguns eventos com magnitude superior ( $M > 7.8$ ). 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 numa faixa que vai desde a Planície da Ferradura [PF] até ao Banco de Gorringe [BG]. É na região que vai do BG até à costa oeste Portuguesa que se encontram localizados os sismos de maior magnitude: por exemplo o 1 de Novembro de 1755 ( $I_0=X$ ) e o de 28 de Fevereiro de 1969 ( $M=8.0$ ).



Sismicidade Instrumental na fronteira Açores-Gibraltar.



Poderá repetir-se  
o sismo de 1755?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Mapa da localização das principais propostas para a zona sismogénica do sismo de 1755. G - Fonte localizada no Banco de Gorringe ; M - fonte localizada na Falha Marquês de Pombal; C- fonte localizada no Golfo de Cádiz . São também representadas as isossistas do sismo de 1755 [Grandin et al. 2007]

Referências:

Grandin, R., Borges, J.F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. & Carrilho, F., 2007. Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 (MS = 8.0) and the 1755 November 1 (M = 8.5) earthquakes – II. Strong ground motion simulations, Geophys. J. Int., 171, 807–822.

Valores e profundidade do epicentro do sismo de Chile de 1960, segundo dados estatísticos (USGS)

O sismo de 1755 foi um dos mais destrutivos de que há memória; ocorreu no 1º dia do mês de Novembro de 1755 (M=9), pelas 9h 30min e foi sentido em toda a Europa e Norte de África. Este evento foi denominado sismo de Lisboa. A ele seguiu-se um gigantesco incêndio e, posteriormente, de uma onda gigante (no sudoeste algarvio atingiu a amplitude máxima de 10 a 15 m e em Lisboa a amplitude de 6 m) que invadiu Lisboa e toda a região Costeira de Portugal, em especial do Algarve, fazendo-se sentir no também Golfo de Cádiz, a Norte de Marrocos, Açores e Madeira. O efeito combinado do sismo, do incêndio e do maremoto provocou uma imensa devastação na cidade de Lisboa e um número incalculável de mortos.

O epicentro deste sismo continua ainda incerto. Inicialmente apontava-se como zona sismogénica deste sismo, o Banco de Gorringe (BG); actualmente, dadas as especiais características da estrutura Cavalgamento Marquês de Pombal (MP) [recente descoberta a partir de perfis sísmicos efectuados na margem], e em particular da orientação do plano de falha e suas dimensões, torna-a uma potencial candidata a zona de génese do sismo de 1755. Contudo, esta falha só poderá explicar uma parte da ruptura.

Se admitirmos que o sismo de 1755 ocorreu na margem Oeste Ibérica, onde se inclui a falha de MP, então, à taxa de deformação estimada para esta zona de cerca de 1mm por ano, pode concluir-se que um sismo de magnitude semelhante ao de 1755 deverá ter um período de retorno de 500 a 2000 anos (Ribeiro 2002). O elevado período de retorno deste sismo não deverá constituir motivo de tranquilidade, dado que é sempre possível que ocorra nesta mesma margem, mas mais próximo de terra, um sismo de magnitude inferior ao de 1755 (magnitude 7 a 8) mas com igual poder destrutivo em zonas densamente habitadas como a cidade de Lisboa ou o litoral algarvio.



## Será possível prever sismos?

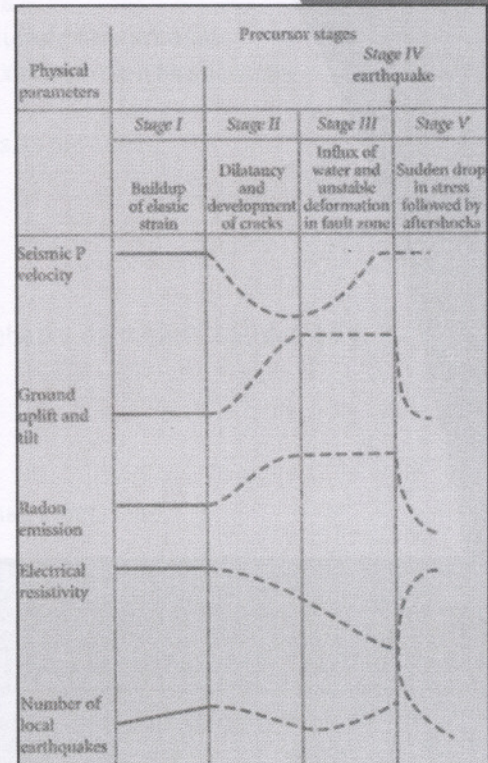
Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

A previsão sísmica é a investigação de um conjunto de métodos que permitam estimar de forma precisa a data, o lugar e a magnitude de um sismo futuro.

A previsão implica não só sermos capazes de localizar uma catástrofe natural com antecedência suficiente, mas também conseguir fazê-lo com margem de erro que permita actuação. Por exemplo podemos prever um sismo de forte magnitude na margem Atlântica portuguesa para os próximos três séculos, mas será que tal previsão é útil? A previsão de sismos a curto prazo não deve ser divulgada ao público sem que antes tenha sido analisada por grupos multidisciplinares de peritos com capacidade para ajuizar sobre os impactos face à sua divulgação ou não divulgação.

Com base na natureza dos solos, na sismotectónica da região e na sismicidade histórica e instrumental é possível estimar o risco através de uma aproximação probabilista. Existem outras vias de obter estimativas de risco, denominadas deterministas. Uma delas é através da identificação de "sinais precursores" susceptíveis de estar ligados à ocorrência de sismos (e.g. eléctricos; sismos precursoros; geodésicos, hídricos; emissão de gases; comportamento anómalo de animais). Outra via determinista possível é a da predição dos movimentos do solo a partir do conhecimento detalhado dos fenómenos de propagação e dos parâmetros que caracterizam as fontes sísmicas. Na prática, a avaliação do risco é obtida através de metodologias que cruzam os vários métodos disponíveis. Para validar esta metodologia é preciso (1) identificar os elementos precursores (2) estabelecer uma correlação entre as anomalias e os sismos, (3) interpretar as anomalias através de processos físicos realistas e (4) elaborar um modelo físico. Numerosas anomalias foram associadas à ocorrência de sismos mas nenhum método consegue verificar as duas últimas condições (3 e 4).

Prever um sismo é uma tarefa difícil. Há que investir fundamentalmente na protecção sobre os efeitos dos sismos já que a previsão eficaz dos mesmos se afigura, por enquanto, numa tarefa de difícil concretização.



Previsão de sismos. A partir de cima, observamos a variação dos precursores sísmicos seguintes: velocidade das ondas P, deformação à superfície, emissão de radão, resistividade eléctrica e sismicidade local [B. Bolt, 2004, p. 219, Freeman and Company, New York].





## Como nos podemos proteger contra os sismos (1)?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

**N**ão podemos impedir a ocorrência de um sismo, mas podemos tentar prevê-lo e tomar as devidas precauções e disposições para minimizar as suas consequências no plano humano. A redução do número de vítimas durante um sismo passa por adaptar as estruturas dos edifícios e de outros tipos de obras às solicitações dinâmicas. É o objecto da construção anti-sísmica.

A prevenção sísmica baseia-se em três pontos: o conhecimento do risco regional, através do estudo da sismicidade histórica e instrumental; a adaptação das estruturas aos movimentos fortes prováveis e a preparação das populações e dos serviços de socorro.

O estudo de sismos antigos tem dois objectivos: determinar a magnitude previsível do maior sismo [magnitude característica] e delimitar as zonas atingidas no passado. Este trabalho conduz à realização da cartografia das zonas expostas a um mesmo nível de perigo.



Alguns cuidados básicos... (imagem dos autores).



## Como nos podemos proteger contra os sismos (2)?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

### ANTES DO SISMO

- Construir a sua casa respeitando as regras anti-sísmicas.
- Informar-se sobre os riscos e as medidas de salvaguarda.
- Procurar os pontos de corte de gás, de água e de electricidade da sua casa.
- Possuir uma rádio (com pilhas), uma lanterna e uma caixa de primeiros socorros.
- Procurar um abrigo seguro.
- Fixar os aparelhos pesados ao chão, e os móveis pesados às paredes.
- Não colocar objectos pesados em estantes altas.

### DURANTE O SISMO

#### No interior

- Ficar calmo e permanecer no interior da casa.
- Ficar junto de uma parede, de um pilar mestre ou debaixo de móveis sólidos (e.g. mesas).
- Afastar-se das janelas.

#### No exterior

- Ficar calmo e permanecer no exterior.
- Afastar-se de todo que pode ruir (edifícios, pontes, linhas eléctricas, ...).

#### No carro

- Ficar calmo. Parar quando for possível, longe dos edifícios e linhas eléctricas.
- Sair do carro só no fim dos abalos sísmicos.

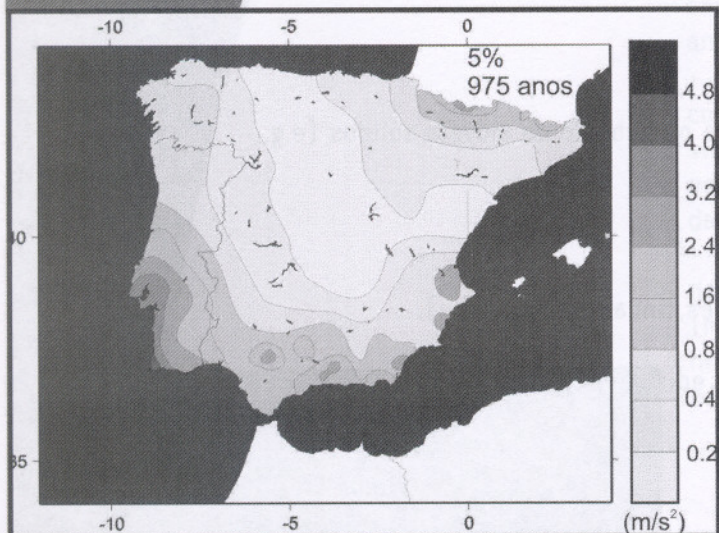
### DEPOIS DO SISMO

- Ficar calmo. Verificar se estamos feridos.
- Cortar a água, a electricidade, o gás. Não acender velas. Não fumar.
- Não telefonar (deixar livre para as instituições e organismos de socorro como a protecção civil, os bombeiros, os socorristas, a policia...).
- Evacuar os edifícios com cuidado mas o mais depressa possível.
- Não utilizar elevadores.
- Não tocar nos fios eléctricos.
- Utilizar sapatos para se proteger dos vidros quebrados.
- Afastar-se de todo que pode ruir.
- Afastar-se das zonas costeiras durante muito tempo depois dos abalos sísmico, no caso de um maremoto ocorrer.
- Não ir buscar os seus filhos; a escola tomara conta das crianças.
- Ir em direcção dos espaços livres (parques, estádios...).
- Não entrar em zonas sinistradas sem autorização.
- Ouvir a rádio para tomar conhecimento das indicações a seguir.



O que é  
a perigosidade sísmica?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Perigosidade sísmica na Península Ibérica; Valor médio da aceleração horizontal do terreno (m/s<sup>2</sup>) para um período de retorno de 975 anos (probabilidade de excedência de 5% em 50 anos) (adaptado de Peláez & López Casado,

Avaliar a perigosidade sísmica é determinar a probabilidade que durante um período de referência, numa determinada zona, ocorra um evento sísmico que atinja ou ultrapasse uma determinada intensidade ou aceleração do solo.

O estudo da perigosidade sísmica compreende duas etapas:

- 1) A primeira parte consiste na caracterização das fontes sísmicas em termos de localização, magnitude e recorrência. Uma síntese dos dados geológicos e sismológicos, eventualmente complementados pela aquisição de dados de campo permitirão a realização de uma zonagem sismotectónica;
- 2) A segunda parte conduz à definição de movimentos do solo de referência. Esta etapa requer o conhecimento simultâneo das fontes sísmicas potenciais deduzidas da zonagem sismotectónica, da atenuação das ondas sísmicas e da configuração geológica e topografia da zona.



## O que é a vulnerabilidade sísmica?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

**O**s sismos são fenómenos naturais potencialmente catastróficos e imprevisíveis. Avaliar o risco sísmico implica estudar para conhecer e poder avaliar o potencial sísmico das estruturas que produzem os sismos: as falhas activas. Mas avaliar o risco sísmico é também reconhecer, estudar e avaliar a vulnerabilidade da estrutura (ex: edifícios) assim como a interacção entre o solo e a estrutura.

A vulnerabilidade sísmica identifica e avalia as fraquezas de uma estrutura afim de prever os potenciais danos. O objectivo das avaliações de vulnerabilidade é identificar a ausência, a insuficiência ou a degradação dos elementos essenciais à resistência da estrutura ao sismo, assim como a possibilidade de uma interacção desfavorável com o solo que poderá agravar a acção de um sismo (interacção solo/estrutura). A construção de edifícios capazes de resistir aos abalos, segundo as normas anti-sísmicas, é a única maneira viável e eficaz de proteger as populações que vivem em zonas de risco.

A construção anti-sísmica baseia-se em cinco pilares indissociáveis: a escolha do sítio, a concepção arquitectónica, o respeito das regras anti-sísmicas, a qualidade da execução, e a manutenção dos edifícios. É importante realçar que não respeitar um dos cinco pontos referidos pode originar a queda do edifício durante um sismo. Um edifício anti-sísmico tem um custo 10% a 20% mais elevado do que um edifício que somente respeita as regras básicas da construção civil. Não será nas novas construções que reside a maior dificuldade em conseguir segurança. O grande desafio reside na reabilitação dos edifícios antigos (ex: em Lisboa - Baixo Pombalina, Bairro Alto, Alfama, Castelo, etc.), vulneráveis, onde a intervenção é muito dispendiosa.

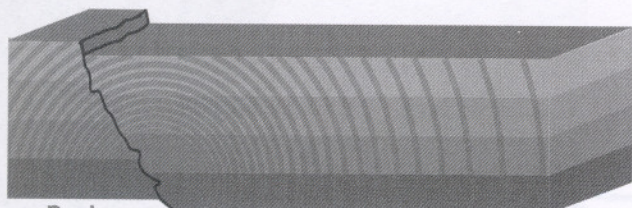


Sismo de Zemmouri (Boumerdes, Algéria)  
Maio de 2003, Mw=6.8

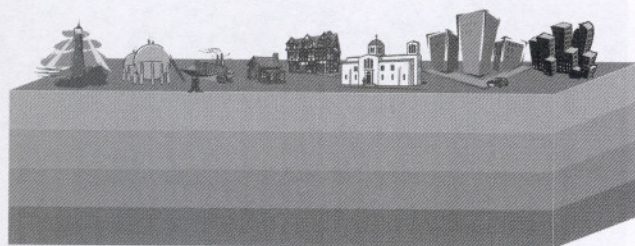


O que é  
o risco sísmico e como reduzi-lo?

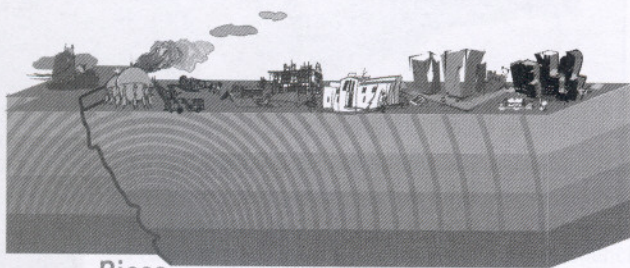
Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Perigo



Investimento + vulnerabilidade



Risco

O Risco sísmico (imagem dos autores).

**D**eterminar o risco sísmico, é calcular a probabilidade e o nível de danos ao longo de um período de referência e no interior de uma dada região. No deserto, um sismo de forte magnitude não é perigoso enquanto que numa cidade o mesmo sismo pode desencadear danos catastróficos. O risco sísmico pode ser definido pela seguinte relação:

$\text{Risco} = \text{perigosidade} \times \text{vulnerabilidade} \times \text{custo}$

As populações não são todavia iguais perante o risco. Com magnitude equivalente, um sismo será menos destrutor num país preparado e que já integre na sua cultura a construção anti-sísmica (ex: EUA, Japão) que num país desfavorecido (ex: Indonésia), onde as regras de construção civil básica não são respeitadas.

A seguir ao sismo de Lisboa de 1755, Voltaire escreve um poema sobre a catástrofe de Lisboa. Para responder a Voltaire, que acredite na fatalidade dos fenómenos naturais, Jean Jaques Rousseau escreve numa carta, « Lettre sur la Providence », que o Homem pode agir para melhorar a sua existência, particularmente não deve viver em lugares perigosos ou em condições desfavoráveis, como o superpovoamento. Esta controversa entre os dois escritores marca o começo da reflexão sobre a responsabilidade do Homem face aos riscos naturais, atribuídos antes à fatalidade. O ano 1755 foi o início da Sismologia Moderna.

Não podemos impedir a ocorrência de um sismo, mas podemos preveni-lo e tomando as devidas precauções para minimizar as suas consequências, quer no plano económico, quer no plano humano. A redução do número de vítimas durante um sismo passa por adaptar as estruturas dos edifícios e de outros tipos de obras às solicitações dinâmicas. É esse o objecto da construção anti-sísmica. A prevenção sísmica baseia-se em três pontos: o conhecimento do risco regional, através do estudo da sismicidade histórica e instrumental; a adaptação das estruturas aos movimentos fortes prováveis e a preparação das populações e dos serviços de socorro.



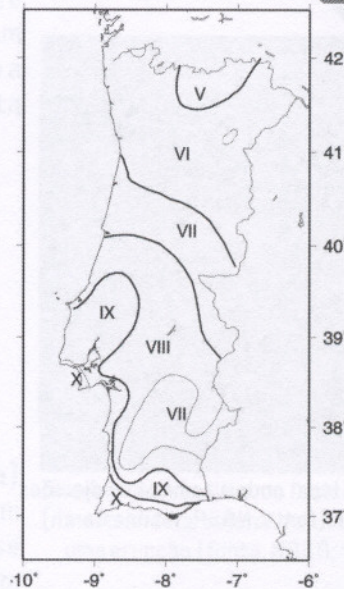
O que sabemos sobre  
risco sísmico em Portugal?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

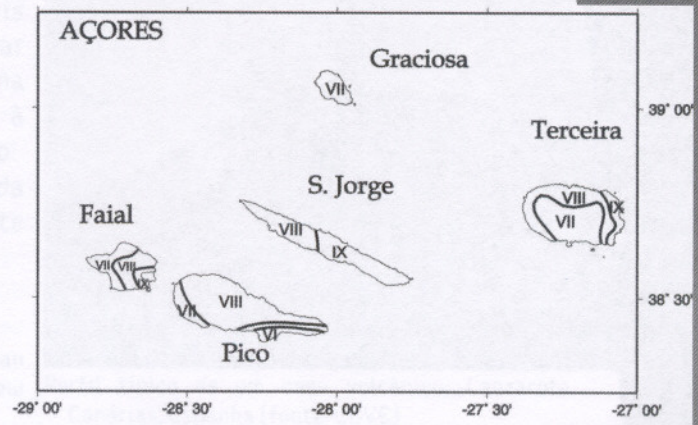
**A** análise da nossa história recente e remota permite-nos concluir que o território português tem sofrido o efeito de eventos sísmicos destruidores com intensidades máximas superior a VIII. A título de exemplo temos o sismo da margem de 1755, os sismos do Vale Inferior do Tejo de 1531 e 1909 e, mais recentemente, os sismos dos Açores de 1980 e 1998. Por outro lado, o estudo dos mecanismos de geração dos sismos permite-nos igualmente concluir que os sismos são fenómenos recorrentes, cujo período de recorrência depende dos regimes de acumulação de tensões e da própria constituição da litosféra. Em consequência disto podemos afirmar que zonas como Portugal continental e os Açores, que já foram atingidas por fortes sismos no passado, voltarão, inevitavelmente, a ser atingidas por eventos de elevado potencial destrutivo.

As cartas de intensidades máximas observadas, elaborada à custa das intensidades dos sismos históricos e actuais, leva-nos a concluir que o perigo sísmico no Continente e Açores é significativo: no caso do território continental, as áreas de maiores intensidades sísmicas observadas correspondem à região do Vale inferior do Tejo, toda a orla do sudoeste português e o Algarve; no caso do Arquipélago dos Açores são as ilhas do Grupo Central e a ilha de S. Miguel.

As zonas de maior concentração demográfica situam-se no litoral, precisamente nas áreas cujas intensidades sísmicas observadas são mais elevadas. Este efeito (perigosidade sísmica), conjugado com a inadequada capacidade de grande parte do nosso edificado a resistir satisfatoriamente a fortes solicitações sísmicas (vulnerabilidade sísmica), permite-nos concluir que uma parte considerável da população portuguesa vive numa situação de risco sísmico considerável.



Carta das intensidades máximas para o território continental português e para o arquipélago dos Açores.



Qual a nossa responsabilidade  
como cidadãos perante o risco sísmico?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Califórnicia; um local onde a tomada de decisões  
é fundamental (fonte: NASA; Visible Earth).

Há um risco sísmico importante em Portugal, sobretudo no Algarve, Alentejo, Açores e Lisboa e Vale do Tejo. A redução desse risco passa pelo investimento em meios humanos e materiais na Sismologia, Tectónica e Geodesia, com vista a melhorar conhecimento da prigosidade sísmica. Mas passa sobretudo pela redução da vulnerabilidade sísmica do edificado, quer construindo melhor pelo respeito das Normas Anti-sísmicas, quer através da reabilitação de edifícios antigos.

Apesar do elevado risco, a generalidade dos países - onde se inclui Portugal - pouco ou nada tem feito nesta área. Em geral os decisores encontram-se pouco motivados para investir uma elevada fatia do erário público em políticas de prevenção cujos efeitos ultrapassam amplamente o horizonte de uma legislatura. Terá, pois, de ser a sociedade civil se auto-mobilizar no sentido da exigência da tomada das necessárias medidas que permitam fazer face a este risco, contudo esta mobilização envolve uma profunda tomada de consciência da necessidade de tal esforço. É neste contexto que uma aposta séria na educação e na divulgação, como meios de consciencialização social, se apresenta como o único e eficaz caminho para se atingirem os desejados objectivos. É necessário que o cidadão seja conhecedor do fenómeno sísmico, da sua génese e distribuição geográfica, e esteja plenamente consciente do risco associado à região em que se insere. Deverá ser ainda instruído nas medidas preventivas a tomar em caso de catástrofe.



## Porque existem vulcões?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Os furos feitos pelo homem (até profundidades próximas dos 10 km) mostram que a temperatura das rochas aumenta com a profundidade (ver ficha 4 do tema 1). Este facto resulta essencialmente de dois fenómenos:

- Do calor residual do planeta, gerado durante o processo inicial de acreção de materiais que levou à formação da Terra (e de todo o Sistema Solar), há cerca de 4600 milhões de anos;
- Do calor libertado por isótopos radioactivos de elementos como o urânio, tório, rádio e potássio, que ao longo dos tempos geológicos têm vindo a retardar o arrefecimento do interior da Terra.

A profundidades a partir dos 100 km (na astenosfera) calcula-se que as temperaturas atinjam valores da ordem dos 1300°C, ou superiores e que existam condições para se dar a fusão parcial das rochas, gerando-se magmas. Em situações particulares a fusão parcial das rochas pode também acontecer na camada superior da Terra, designada por litosfera.

Sendo os magmas constituídos fundamentalmente por uma fase líquida, são menos densos que as rochas que os produziram e têm tendência a migrar para níveis superiores, arrefecendo gradualmente e podem solidificar antes de atingirem a superfície terrestre. Se um magma encontrar fracturas que lhe permitam ascender até à superfície antes de cristalizar, então forma-se um vulcão.

Um vulcão é uma elevação de terreno resultante da acumulação de lavas e outros materiais expelidos durante as erupções.

### Referências:

Frank, Press, Raymond Siever, John Grotzinger & Thomas Jordan (2003) - Understanding Earth, W. H. Freeman and Company, New York

Wilson Teixeira, M. Cristina, M. Toledo, Thomas R. Fairchild & Fabio Taioli (2000) - Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo.



Imagem de satélite do Vulcão Etna [Itália], mostrando a coluna de cinzas libertada por uma erupção [fonte: NASA; Visible Earth].



Perfil típico de um cone vulcânico; Lanzarote, Canárias, Espanha [fonte: CCVE].





Os efeitos destrutivos do vulcanismo restringem-se à destruição provocada pelas lavas, cinzas e piroclastos?

Mourad Bezzehoud, José Borges, Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Normalmente as populações associam as lavas, cinzas e piroclastos (materiais no estado sólido, projectados durante uma erupção vulcânica) aos efeitos mais destruidores dos vulcões, considerando-os porventura os únicos impactos negativos, mas podem existir outros igualmente negativos e menos evidentes. Muitas erupções são acompanhadas da libertação de gases, alguns altamente tóxicos. Os gases mais comuns são o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{SO}_2$ . Na dependência directa de uma erupção vulcânica podem ocorrer sismos, tsunamis e grandes escorregamentos de terras.

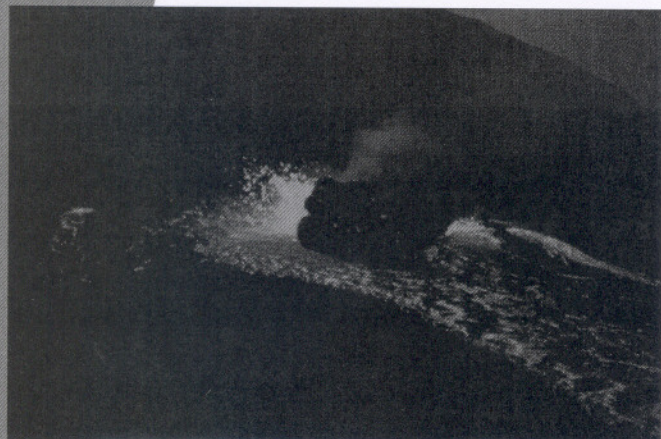
Nas erupções mais violentas a libertação de gases, em conjunto com as poeiras lançadas para a atmosfera, podem ter impactos climáticos à escala global. A este propósito refira-se a erupção do Vulcão Laki (Islândia, 1783): Este vulcão foi responsável pela libertação de uma nuvem de gases e cinzas que envolveram a Islândia e parte da Europa setentrional durante meses. A nuvem (denominada neblina seca) era rica em flúor e poluiu solos, rios e lagos, matando 10.000 pessoas e 230.000 cabeças de gado. O Inverno seguinte foi anormalmente severo e Benjamin Franklin foi o primeiro a sugerir que as grandes erupções têm repercussões climáticas.

Mais recentemente, a erupção do Krakatoa (Indonésia, 1883) originou uma explosão equivalente a 5000 bombas de Hiroshima. Foi ouvida na Austrália, a 2000 km de distância. As cinzas vulcânicas espalharam-se por 700.000  $\text{km}^2$ . À erupção seguiram-se tsunamis com ondas de 40 m que destruíram 300 povoações costeiras matando 36.000 pessoas. Os efeitos na atmosfera iniciaram-se após a erupção e calcula-se que a temperatura global do Planeta desceu cerca de  $0.5^\circ\text{C}$ , durante 2 a 3 anos.

Referências:

Frank, Press, Raymond Siever, John Grotzinger & Thomas Jordan (2003) - Understanding Earth, W. H. Freeman and Company, New York

Outras informações:  
<http://volcano.und.nodak.edu/>



Erupção nocturna do Etna em 1999; Sicília, Itália  
(fonte: CCVE).



## Há limite para a destruição provocada pelos vulcões?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Não existem limites predefinidos para a destruição associada ao vulcanismo. No gráfico estão projectados os números de mortes provocados por causas directas e indirectas da actividade vulcânica durante os últimos 500 anos, indicando-se as sete erupções mais destruidoras, cada uma responsável por 10.000 ou mais vítimas.

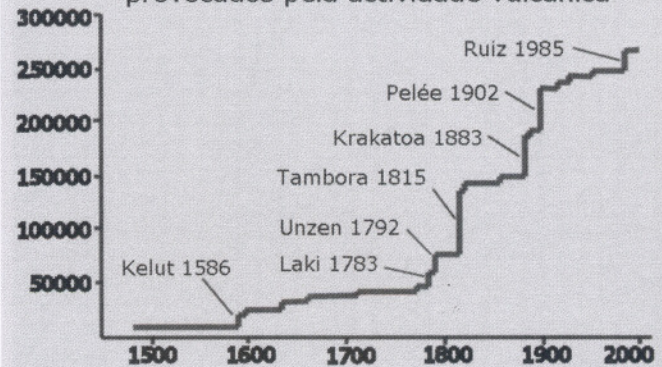
Recuando no tempo, a erupção do Vulcão Santorini na ilha de Thera, situada no Mar Egeu, em 1623 A.C., deverá ter sido mais violenta que qualquer uma das que estão representadas no gráfico. Nesta ilha situava-se um dos principais portos da civilização minóica, que foi totalmente destruído por uma erupção responsável pelo colapso da parte central da ilha, levando à formação de uma caldeira com 7 por 10 km de diâmetro. Os produtos da erupção chegaram à Turquia e ao Egipto. Alguns investigadores consideram que esta catástrofe está directamente relacionada com a lenda do desaparecimento de "Atlântida".

Recuando ainda mais no tempo, a história geológica do Planeta mostra-nos que houve períodos de intensa actividade vulcânica, várias ordens de grandeza superiores aos fenómenos históricos conhecidos, com impactos catastróficos na biodiversidade, levando ao desaparecimento de muitas espécies de seres vivos.

### Referências:

Frank, Press, Raymond Siever, John Grotzinger & Thomas Jordan (2003) - Understanding Earth, W. H. Freeman and Company, New York

Curva cumulativa do número de mortos provocados pela actividade vulcânica



Prejuízos do vulcanismo, contabilizados em vidas humanas, nos últimos 500 anos.



*Tyrannosaurus Rex*, uma das espécies de dinossauros, um grupo de seres vivos duramente atingidos por fenómenos vulcânicos; exemplar existente no Centro Ciência Viva de Estremoz.

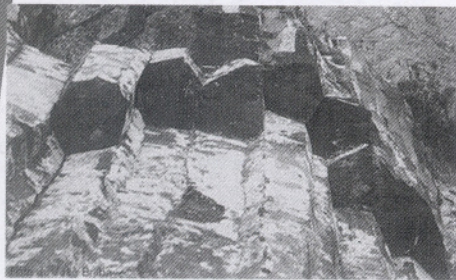


Para além dos Açores, há riscos vulcânicos noutros locais de Portugal?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



Vestígios da actividade vulcânica nos Açores; Furnas, S. Miguel (fonte: CCVE).



Disjunção colunar em rochas basálticas do Complexo Vulcânico de Lisboa-Mafra; Penedo de Lexim, Mafra (imagem de José Brilha, <http://www.geopor.pt/>).

À escala temporal da Sociedade e no que se refere ao território Nacional, só há vulcanismo activo nos Açores e no mar, nas proximidades deste arquipélago. O arquipélago da Madeira é também de origem vulcânica mas sem actividade recente, existindo apenas ligeiras manifestações secundárias de vulcanismo que se traduzem pela existência de nascentes minerais.

No que se refere a Portugal Continental, na história geológica do nosso território há registo de diversos períodos de actividade vulcânica em muitos pontos do País. A título de exemplo refira-se a cidade de Lisboa e os seus arredores (Loures, Odivelas, Queluz, Amadora), que se encontram construídos sobre rochas vulcânicas do Cretácico Superior (70 a 80 milhões de anos).

À escala do tempo geológico é provável que se venham a criar condições para que no futuro se voltem a formar vulcões em Portugal Continental mas isso certamente não irá acontecer à escala das nossas vidas, os dos nossos filhos, ou dos nossos netos.



## É possível prever erupções vulcânicas?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

Apesar da imprevisibilidade que está sempre associada às catástrofes naturais, a actividade vulcânica pode muitas vezes ser detectada precocemente através de vários fenómenos:

- Variação, ao longo do tempo, da sismicidade nas regiões vulcânicas;
- Monitorização da topografia da região;
- Monitorização das emissões gasosas relacionadas com a actividade hidrotermal.

Antes de uma erupção, a sismicidade geralmente aumenta nas proximidades do aparelho vulcânico, devido à ascensão do magma, ainda em profundidade. Por outro lado é frequente a superfície topográfica sofrer ligeiras deformações, sendo possível detectar inclinações e dilatações do terreno, antes de ocorrer uma erupção importante. Finalmente, antes de uma erupção o regime de emissões gasosas tende a modificar-se, permitindo dar o alerta.

O Vulcão Pinatubo, nas Filipinas, entrou em erupção em 1991, depois de estar inactivo durante 500 anos. Este vulcão foi responsável pela segunda maior erupção do século vinte, lançou mais de 5 km<sup>3</sup> de materiais para a atmosfera, o peso das cinzas derrubou edificações mas causou apenas por 300 vítimas. Os sistemas de monitorização e de prevenção funcionaram, permitindo evacuar 250.000 pessoas dos arredores.

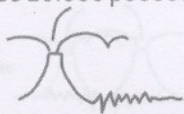
Uma outra erupção com efeitos muito mais negativos, foi a do Nevado del Ruiz, na Colômbia, em 1985. A cratera do vulcão situa-se nos Andes, a 5389m de altitude, e tem uma área de 17 km<sup>2</sup> de gelo no cume. Os vulcanólogos alertaram para uma erupção eminente mas o governo não reagiu. Verificou-se apenas uma pequena erupção piroclástica, suficiente para derreter 10% da calote de gelo. Apesar da pequena escala do fenómeno vulcânico, formaram-se escorregamentos e torrentes de lama no Vale de Armero, que destruíram uma área de 40 km<sup>2</sup>, matando 20.000 pessoas.



Cone reflector de equipamento radar instalado no satélite ESR-1 de modo a controlar variações da superfície do solo; Sulfatara, Nápoles, Itália (fonte: CCVE).



O controlo das emissões gasosas vulcânicas, e associadas às quais é frequente encontrarem-se cristais de enxofre, é um importante instrumento na previsão vulcânica (fonte: CCVE).



## É possível controlar uma erupção vulcânica?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo



A eminência das perdas materiais leva por vezes o Homem a procurar tentar controlar as erupções...; Etna, Sicília, Itália (fonte: CCVE).

As erupções vulcânicas apresentam características muito diferentes de vulcão para vulcão, e são função do tipo de magma que ascende até à superfície. Nos casos em que o magma atinge a superfície a temperaturas muito elevadas, comporta-se como um fluido viscoso, os derrames de lava dizem-se efusivos e deslocam-se lentamente na superfície até a lava arrefecer e solidificar. No extremo oposto estão os magmas que chegam à superfície quase totalmente no estado sólido, com uma importante fase de voláteis. Nestes casos as erupções correspondem a violentas explosões que projectam na atmosfera grandes quantidades de cinzas e piroclastos. Entre as erupções mais explosivas e as mais efusivas, existem todas as situações intermédias e há vulcões cuja actividade alterna ao longo do tempo entre estes dois tipos.

Uma erupção explosiva pode-se comparar ao disparo de uma válvula de panela de pressão. Nestes casos, a única coisa que há a fazer é evacuar a região e deixar que a energia concentrada no interior da Terra se liberte naturalmente. No caso das erupções efusivas, por vezes existe alguma margem de manobra para minorar os prejuízos provocados pela actividade vulcânica. Em Heimaey, na Islândia, durante uma erupção em 1973 a população juntou-se para bombear água do mar, lançando-a sobre a frente de lava. Com isso conseguiram travar uma escoada que, sem a intervenção humana, teria destruído o porto da povoação. Nos últimos anos, no Etna, (Sicília) o recurso a bulldozers permitiu desviar, com êxito, mais que uma vez o trajecto das escoadas.

Outras informações:

<http://www.decadevolcano.net>

<http://volcano.und.nodak.edu/vw.html>



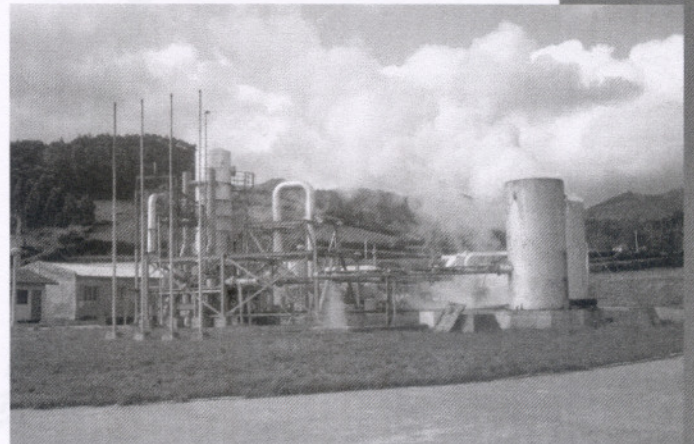
## A actividade vulcânica só tem aspectos negativos?

Mourad Bezzeghoud, José Borges,  
Bento Caldeira & Alexandre Araújo

**A** pesar da devastação, do número de mortos e mesmo das alterações climáticas que uma erupção vulcânica pode causar, o vulcanismo tem vários aspectos positivos. A atmosfera e os oceanos formaram-se a partir da actividade vulcânica, no passado mais distante da história da Terra. Os solos de origem vulcânica são extremamente férteis devido aos seus nutrientes minerais. As rochas vulcânicas, os gases e as nascentes termais são importantes fontes de materiais industriais e de produtos químicos. A circulação de água do mar em fissuras, nas proximidades de zonas vulcânicas submarinas (principalmente nas cristas médias oceânicas) é um dos principais factores para a formação de jazigos minerais e para a manutenção do balanço químico nos oceanos. Finalmente, a energia geotérmica está a tornar-se cada vez mais importante nas regiões vulcânicas, sendo uma fonte energética inesgotável à escala humana do tempo.



O solo das regiões vulcânicas é extremamente fértil; ilha Terceira, Açores (fonte: CCVE).



Aproveitamento da energia geotérmica; ilha de S. Miguel, Açores (fonte: CCVE).

