



## **Sismos: perigos, perigosidade e risco**

Pedro Pereira

**Objetivo:**

O presente documento é um texto de cariz didático, elaborado com base em bibliografia atualizada sobre sismos e perigos associados e perigosidade e risco sísmicos, sendo parte integrante dos materiais de estudo da Unidade Curricular de Riscos Naturais (21098), da Licenciatura em Ciências do Ambiente, da Universidade Aberta.

Capa: Gravura de 1755 mostrando Lisboa em chamas e o tsunami a varrer o porto. Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9869>



## **Índice**

1. Sismos .....	1
1.1. Geração de sismos tectónicos.....	1
1.2. Ondas sísmicas.....	2
1.3. Localização do epicentro de um sismo .....	4
1.4. Intensidade e magnitude dos sismos .....	6
1.5. Sismos e tectónica de placas .....	9
2. Perigos sísmicos .....	13
2.1. Perigos sísmicos primários .....	13
2.2. Perigos sísmicos secundários.....	16
3. Perigosidade sísmica .....	19
3.1. Falhas ativas .....	20
4. Risco Sísmico .....	22
5. Sismicidade em Portugal.....	25
6. O que fazer antes, durante e depois de um sismo .....	27
6.1. Antes .....	27
6.2. Durante.....	27
6.3. Depois.....	28
Referências.....	29

## 1. Sismos

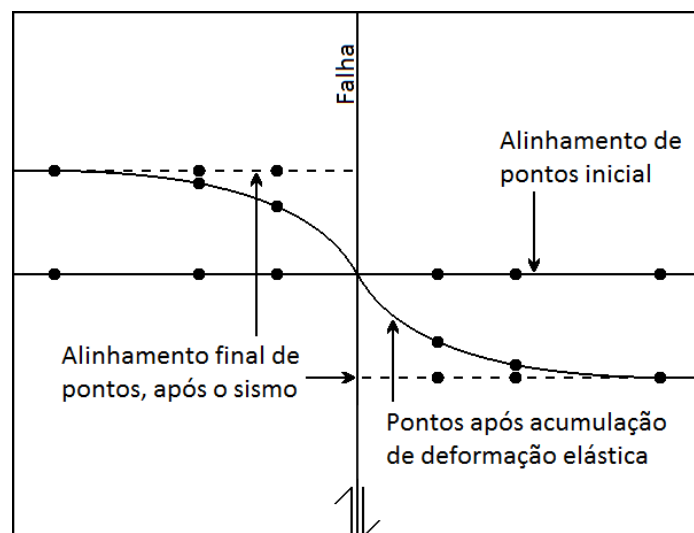
Os sismos são movimentos vibratórios bruscos com origem nas camadas superiores do planeta, resultantes da libertação súbita de energia. Os seus mecanismos de geração podem ser naturais ou artificiais.

Os sismos naturais são classificados, de acordo com o respetivo mecanismo de geração, em sismos de colapso, sismos vulcânicos e sismos tectónicos. Os **sismos de colapso**, próximo da superfície, podem resultar do abatimento de cavernas ou de movimentos de vertente bruscos, em profundidade (300 a 680 km), resultam de transformação brusca de uma fase mineral noutra mais densa que colapsa ao longo de fenda profunda (Ribeiro, 1995). Os **sismos vulcânicos** são gerados pelos movimentos do magma, ao forçar o seu caminho para a superfície, ou por explosões vulcânicas. Os **sismos tectónicos** originam-se por roturas em falhas ativas. Como a maioria dos sismos naturais tem este mecanismo de geração, os sismos tectónicos serão abordados pormenorizadamente.

Os sismos artificiais resultam de atividades humanas, sobrepostas ou não a processos naturais. Assim, atividades como o enchimento de barragens ou a exploração de hidrocarbonetos podem induzir roturas ou movimentos em falhas ativas. Outros processos antropogénicos que podem originar sismos são as explosões artificiais (convencionais, em minas ou pedreiras, ou nucleares) e os desabamentos em minas subterrâneas (Ribeiro, 1995).

### 1.1. Geração de sismos tectónicos

A geração de sismos tectónicos é explicada pela **Teoria do Ressalto Elástico**, proposta por H. F. Reid, em 1910 (Fig. 1).

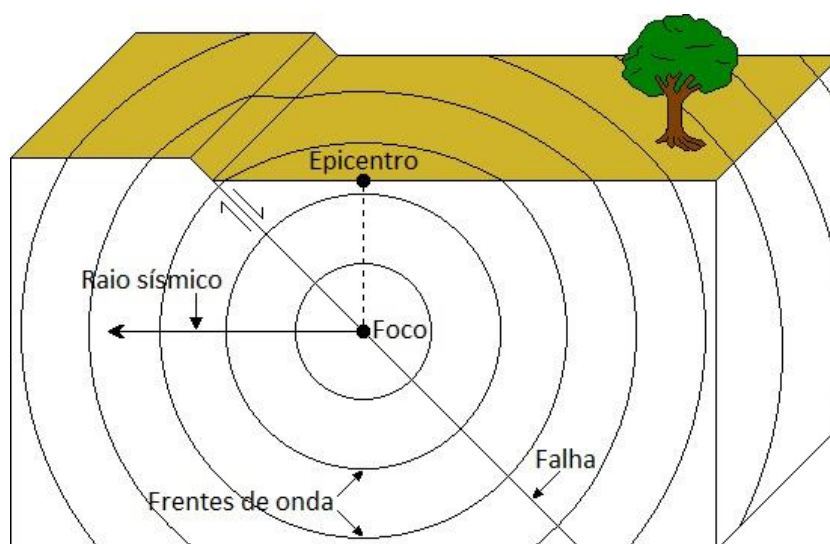


**Figura 1** – Diagrama esquemático da geração de sismos tectónicos, segundo a Teoria do Ressalto Elástico.

Esta teoria sugere que se o movimento ao longo de uma falha é travado de modo que a energia elástica acumulada aumente nas rochas sujeitas a deformação (em ambos os lados da falha), quando o movimento ocorre, a energia libertada provoca um sismo. A elaboração desta teoria foi baseada em medições efetuadas em diversos pontos, em ambos os lados de uma falha: antes da ocorrência de um sismo, verificou-se que as rochas adjacentes à falha estavam deformadas; após o sismo, a deformação desapareceu, sugerindo que a energia armazenada na deformação das rochas foi subitamente libertada durante o sismo (Fig. 1).

## 1.2. Ondas sísmicas

O **foco** ou hipocentro é o local do interior da Terra onde as ondas sísmicas são geradas pela libertação súbita da energia elástica armazenada, isto é, corresponde ao local onde se origina o sismo. O **epicentro** é o ponto na superfície da Terra imediatamente acima do foco (Fig. 2).



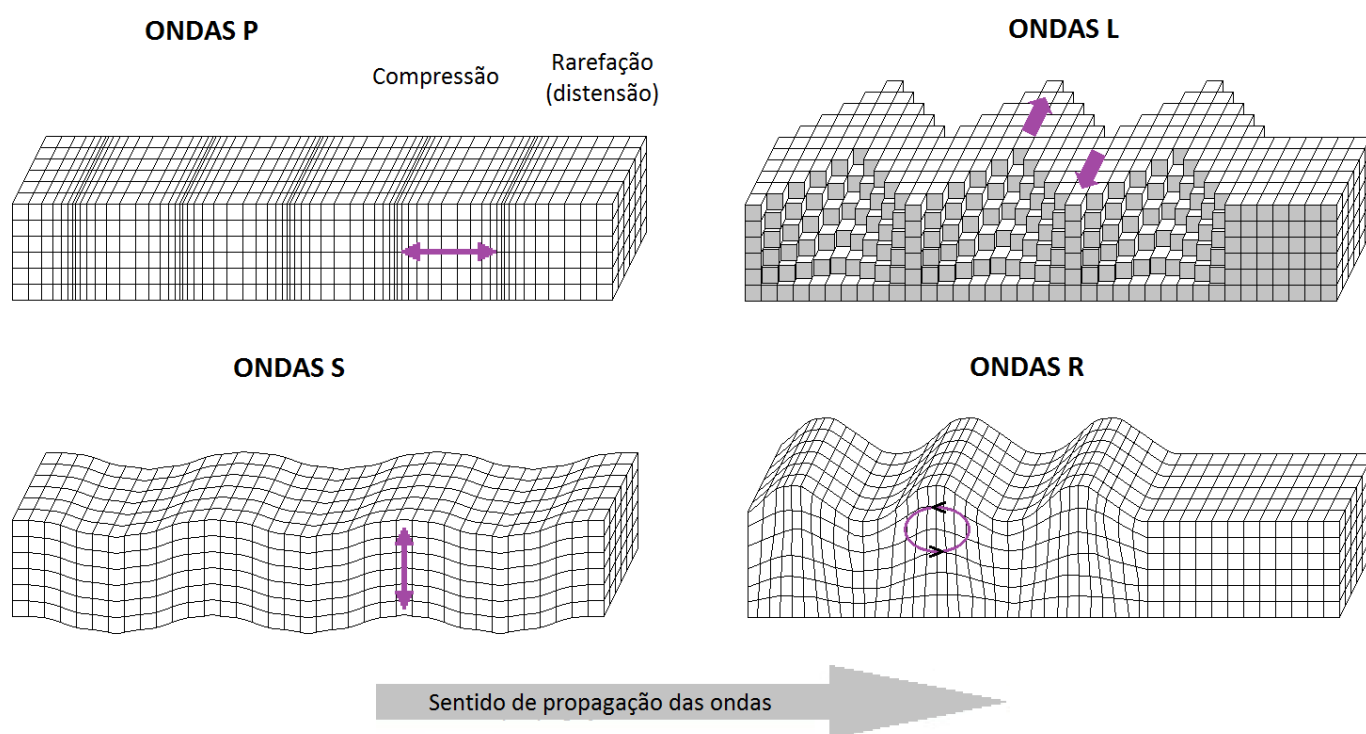
**Figura 2** – Diagrama esquemático representando a propagação das ondas sísmicas a partir do foco.

Normalmente, os sismos não são fenómenos isolados, sendo frequentemente antecedidos e sucedidos por pequenos abalos, denominados, respetivamente, por **abalos premonitórios e réplicas**.

As ondas sísmicas propagam-se em todas as direções a partir do foco (Fig. 2). A superfície dianteira da onda sísmica (**frente de onda**), definida pelos pontos que se encontram na mesma fase do movimento ondulatório, separa as zonas que já sofreram os efeitos do sismo daquelas que ainda não os sofreram. As direções de propagação da onda perpendiculares à frente de onda denominam-se **raios sísmicos**.

Durante os sismos são gerados dois tipos de ondas sísmicas: **ondas volúmicas** (ondas P e S), que viajam através do interior da Terra, propagando-se, em todas as direções, a partir do foco; e **ondas superficiais** (ondas L e R), que viajam apenas ao longo da superfície do planeta, propagando-se a partir do epicentro.

As ondas P (ou ondas primárias) são as ondas de maior velocidade, sendo, por isso, as primeiras a ser detetadas pelos sismógrafos (Fig. 5). São **ondas longitudinais**, propagando-se, por impulsos alternados de compressão e distensão, na direção de propagação da onda (Fig. 3). Podem propagar-se em meios sólidos, líquidos ou gasosos.

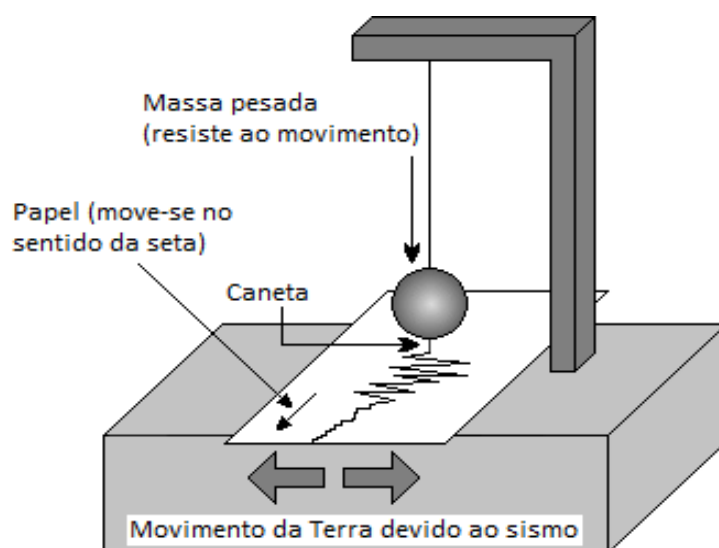


**Figura 3** – Diagramas esquemáticos ilustrando a propagação das ondas sísmicas volúmicas (ondas P e S) e superficiais (ondas L e R).

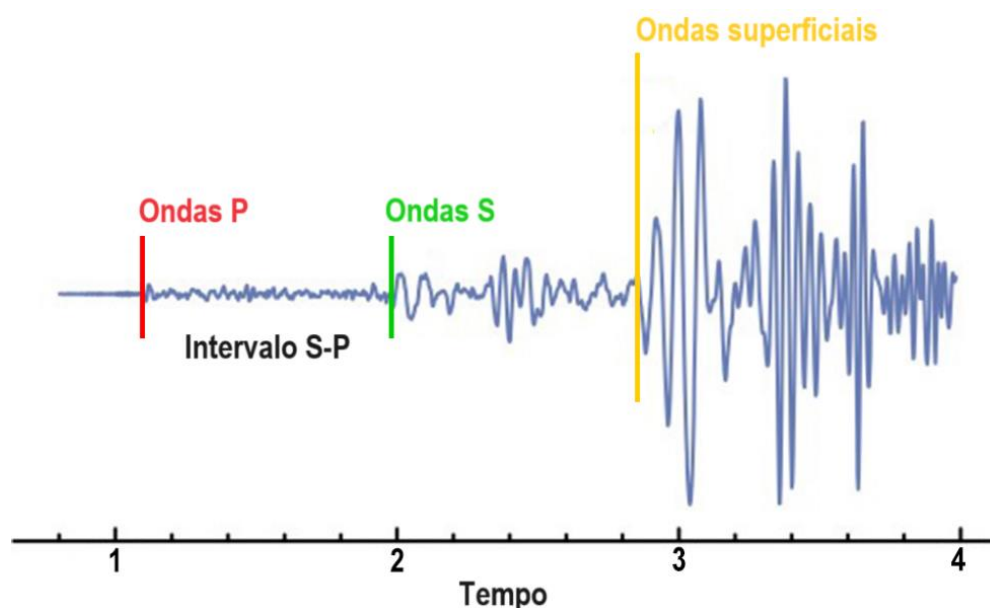
As ondas S (ou ondas secundárias) são **ondas transversais** ou de cisalhamento, provocando um movimento para cima e para baixo (em corte lateral) perpendicular à direção de propagação da onda (Fig. 3). Têm maior amplitude do que as ondas P e propagam-se apenas em meios sólidos.

Quando as ondas P e S atingem a superfície, a interferência entre estes dois tipos de onda origina ondas superficiais complexas. Estas ondas, mais lentas e com maior amplitude do que as ondas P e S, causam grande parte da destruição junto ao epicentro do sismo. As ondas de Love (ou ondas L) são transversais, polarizadas no plano horizontal; as ondas de Rayleigh (ou ondas R) são elípticas, retrógradas, polarizadas no plano vertical (Fig. 3).

Como acima se referiu, quando um sismo ocorre, as ondas sísmicas viajam através da Terra sob a forma de vibrações. O sismógrafo (Fig. 4) é o instrumento usado para registar essas vibrações e o gráfico resultante é o sismograma (Fig. 5).



**Figura 4** – Representação esquemática simplificada de um sismógrafo.



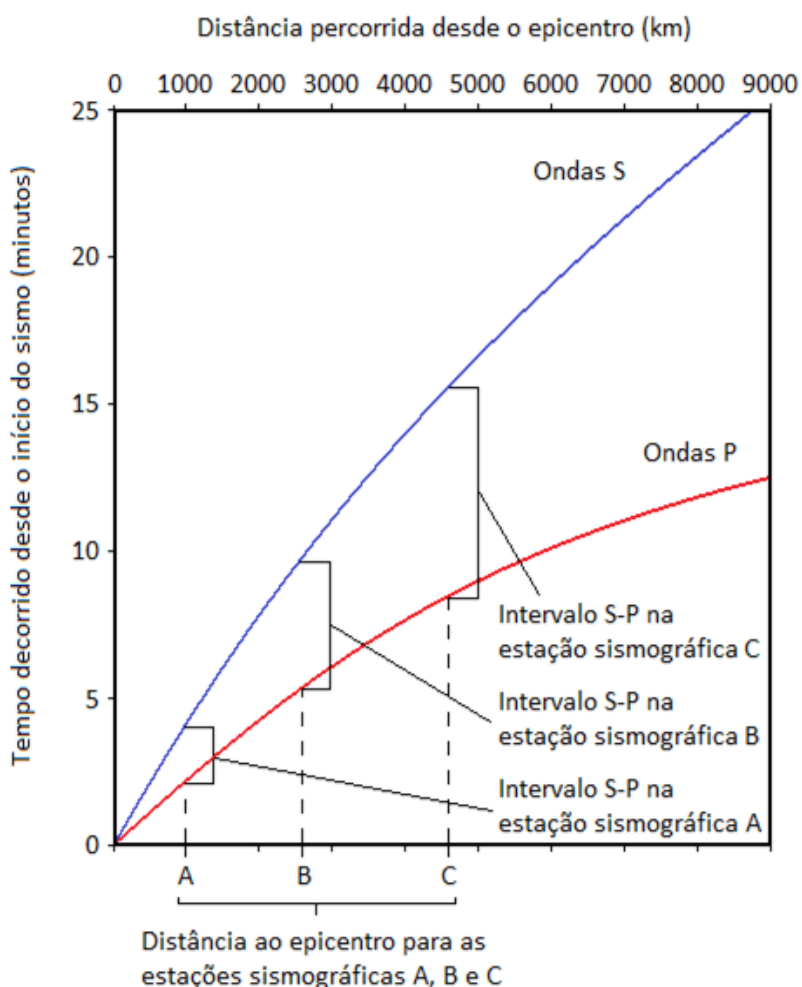
**Figura 5** – Sismograma idealizado de sismo tectónico. Adaptado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S-P-interval-seismogram-distance-to-earthquake.jpg#/media/File:S-P-interval-seismogram-distance-to-earthquake.jpg>.

### 1.3. Localização do epicentro de um sismo

O sismograma, tal como ele é produzido pelo sismógrafo, corresponde a uma projeção das vibrações em função do tempo. No sismógrafo o tempo é marcado a intervalos regulares de modo que seja possível determinar o tempo de chegada da primeira onda P e o tempo de chegada da primeira onda S.

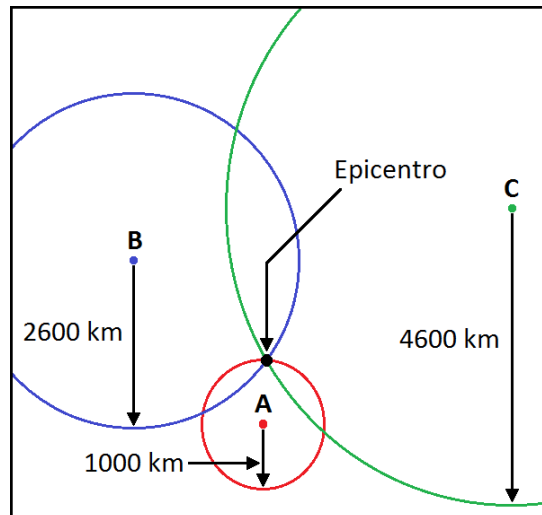
Para determinar a localização do epicentro de um sismo é necessário que o sismo seja registado em pelo menos três estações sismográficas, situadas a diferentes distâncias do epicentro (Figs. 6 e 7). Para além disso, é também necessário conhecer o tempo que as ondas P e S demoram a viajar através da Terra até cada estação sismográfica. Esta informação tem sido recolhida desde há mais de 90 anos e está disponível em curvas de tempo de deslocação das ondas (Fig. 6).

Analisando os sismogramas produzidos pelos sismógrafos de cada estação é possível determinar o intervalo S-P, isto é, a diferença entre o tempo de chegada da primeira onda S e o tempo de chegada da primeira onda P. Como é natural, o intervalo S-P é tanto maior quanto maior for a distância ao epicentro (ou distância epicentral) (Fig. 6).



**Figura 6** – Gráfico mostrando o aumento do intervalo S-P com a distância percorrida pelas ondas sísmicas.

Como o intervalo S-P indica a distância a que a estação sismográfica se encontra do epicentro, é possível desenhar num mapa uma circunferência com centro em cada estação e raio igual à distância epicentral. O ponto onde três destas circunferências se intersectam corresponde ao epicentro do sismo (Fig. 7).



**Figura 7** – Localização do epicentro de um sismo com base em três estações sismográficas (A, B e C).

#### 1.4. Intensidade e magnitude dos sismos

Os sismos podem ser avaliados pela sua intensidade (destruição causada) ou pela sua magnitude (quantidade de energia libertada no foco).

Existem muitas escalas de intensidade sísmica, sendo a mais conhecida a proposta, em 1902, por G. Mercalli. As revisões posteriores elaboradas A. Sieberg, em 1917 (MSC-17), H. Wood e F. Newmann, em 1931 (MM-31), e C. Richter, em 1956 (MM-56), foram e ainda são amplamente utilizadas. Em Portugal, desde 1974, é utilizada a escala MM-56 (**Escala de Mercalli modificada de 1956** – Tab.1).

Desde o final do século XX, outra escala, devido à sua coerência e robustez, tem vindo a ganhar notoriedade e a ser adotada mundialmente, a denominada **Escala Macrossísmica Europeia de 1998** (EMS-98 – Tab. 2). Esta escala publicada em 1998, depois de uma versão preliminar de 1993, resultou da revisão de muitas escalas de intensidade utilizadas internacionalmente.

Às doze categorias destas duas escalas atribuem-se números romanos. Cada categoria corresponde a uma descrição do modo como as pessoas sentem a vibração de um sismo e a extensão dos danos em edifícios e outras estruturas construídas pelo ser humano (Tabs 1 e 2).

**Tabela 1** – Escala de Mercalli Modificada de 1956 (versão simplificada).

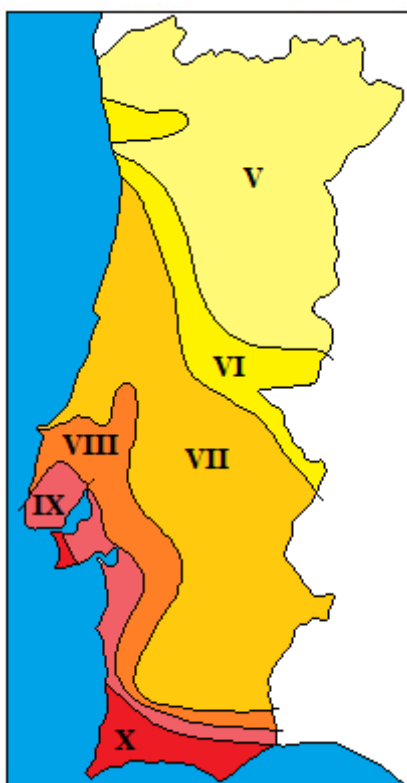
<b>Grau I</b>	<b>IMPERCETÍVEL</b> – Apenas registado pelos aparelhos de precisão (sismógrafos).
<b>Grau II</b>	<b>MUITO FRACO</b> – Sentido por um muito reduzido número de pessoas em repouso, em especial pelas que habitam em andares elevados.
<b>Grau III</b>	<b>FRACO</b> – Sentido por um pequeno número de habitantes. Bem sentido nos andares elevados.
<b>Grau IV</b>	<b>MÉDIO</b> – Sentido dentro das habitações, podendo despertar do sono um pequeno número de pessoas. Nota-se a vibração de portas e janelas e das loiças dentro dos armários.
<b>Grau V</b>	<b>POUCO FORTE</b> – Praticamente sentido por toda a população, fazendo acordar muitas pessoas. Há queda de alguns objetos menos estáveis e param os pêndulos dos relógios. Abrem-se pequenas fendas nos estuques das paredes.
<b>Grau VI</b>	<b>FORTE</b> – Provoca início de pânico nas populações. Produzem-se leves danos nas habitações, caindo algumas chaminés. O mobiliário menos pesado é deslocado.
<b>Grau VII</b>	<b>MUITO FORTE</b> – Caem muitas chaminés. Há estragos limitados em edifícios de boa construção, mas importantes e generalizados nas construções mais frágeis. Facilmente perceptível pelos condutores de veículos automóveis em trânsito. Desencadeia pânico geral nas populações.
<b>Grau VIII</b>	<b>RUINOSO</b> – Danos acentuados em construções sólidas. Os edifícios de muito boa construção sofrem alguns danos. Caem campanários e chaminés de fábricas.
<b>Grau IX</b>	<b>DESASTROSO</b> – Desmoronamento de alguns edifícios. Há danos consideráveis em construções muito sólidas.
<b>Grau X</b>	<b>MUITO DESASTROSO</b> – Abrem-se fendas no solo. Há cortes nas canalizações, torção nas vias de caminho-de-ferro e empolamentos e fissuração nas estradas.
<b>Grau XI</b>	<b>CATASTRÓFICO</b> – Destruição da quase totalidade dos edifícios, mesmo os mais sólidos. Caem pontes, diques e barragens. Destruição das redes de canalização e das vias de comunicação. Formam-se grandes fendas no terreno, acompanhadas de desligamento. Há grandes movimentos de massa.
<b>Grau XII</b>	<b>CATACLISMO</b> – Destruição total. Modificação da topografia.

**Tabela 2** – Escala Macrossísmica Europeia de 1998 simplificada (IPMA, s/d).

<b>Grau I</b>	<b>NÃO SENTIDO</b> – Não sentido.
<b>Grau II</b>	<b>ESCASSAMENTE SENTIDO</b> – Apenas sentido por muito poucas pessoas a descansar dentro de casa.
<b>Grau III</b>	<b>FRACO</b> – Sentido no interior das casas por poucas pessoas. Pessoas em descanso sentem um balanceamento ou um estremecimento leve.
<b>Grau IV</b>	<b>AMPLAMENTE OBSERVADO</b> – Sentido no interior das casas por muitas pessoas e por muito poucas fora de casa. Poucas pessoas são acordadas. As janelas, portas e pratos chocam.
<b>Grau V</b>	<b>FORTE</b> – Sentido no interior das casas pela maioria das pessoas e por poucas fora de casa. Muitas pessoas a dormir são acordadas. Algumas pessoas assustam-se. Os prédios estremecem de forma generalizada. Objetos suspensos baloçam consideravelmente. Pequenos objetos são deslocados. Algumas janelas ou portas abrem-se ou fecham-se.
<b>Grau VI</b>	<b>LIGEIRAMENTE DANIFICANTE</b> – Muitas pessoas assustam-se e fogem para fora das casas. Alguns objetos caem. Muitas casas sofrem ligeiros danos não-estruturais, como fissuras e queda de pequenos pedaços de recobrimento.
<b>Grau VII</b>	<b>DANIFICANTE</b> – A maior parte das pessoas assusta-se e foge para fora das casas. Os móveis são deslocados e numerosos objetos caem das prateleiras. Muitos edifícios comuns de boa construção sofrem danos moderados: pequenas fendas nas paredes, quedas de estuque, quedas parciais de chaminés. Os edifícios mais antigos podem apresentar grandes fendas nas paredes e rotura nas paredes de enchimento.
<b>Grau VIII</b>	<b>MUITO DANIFICANTE</b> – Muitas pessoas têm dificuldade em permanecer em pé. Muitas casas apresentam grandes fendas nas paredes. Alguns edifícios comuns de boa construção mostram grandes roturas nas paredes; estruturas mais antigas e fracas podem colapsar.
<b>Grau IX</b>	<b>DESTRUTIVO</b> – Pânico geral. Muitas construções fracas colapsam. Mesmo os edifícios comuns de boa construção apresentam danos muito severos: colapso parcial das paredes e colapsos estruturais parciais.
<b>Grau X</b>	<b>MUITO DESTRUTIVO</b> – Muitos edifícios comuns de boa construção colapsam.
<b>Grau XI</b>	<b>DEVASTADOR</b> – A maioria dos edifícios de boa construção colapsam. Mesmo alguns edifícios construídos com bom projeto sismorresistente são destruídos.
<b>Grau XII</b>	<b>COMPLETAMENTE DEVASTADOR</b> – Praticamente todos os edifícios são destruídos.

A intensidade sísmica em determinado local não depende apenas das características do próprio sismo (profundidade do foco e quantidade de energia libertada), mas também da localização das regiões afetadas (distância epicentral e características geológicas locais) e ainda, entre outros fatores, do tipo de construção.

A intensidade de um sismo determina-se com base em questionários efetuados a pessoas que residem nas regiões afetadas pelo sismo, notícias de jornais e informações das equipas de avaliação de danos. Conhecida a intensidade de um sismo em diversos locais da região afetada pelo mesmo, é elaborado um mapa ou carta de **isossistas** (linhas que separam zonas de diferente intensidade sísmica - Fig. 8).



**Figura 8** – Carta de isossistas (escala de Mercalli modificada) do sismo de 1 de novembro de 1755. Adaptado de Senos & Carrilho (2003).

Como a intensidade sísmica também depende de fatores não relacionados com o sismo em si, atualmente utiliza-se uma grandeza calculada matematicamente para quantificar os sismos – a magnitude. Ao contrário da intensidade sísmica, que, de modo geral, diminui com o aumento da distância ao epicentro, a magnitude sísmica tem um valor único, que expressa a quantidade de energia libertada no foco.

Existem diversas técnicas de cálculo da magnitude, mas a mais conhecida é a Magnitude de Richter, proposta por C. Richter, em 1935, a qual conjuga a amplitude máxima das ondas registadas (num sismograma) e a distância epicentral. O cálculo da energia (em ergs) libertada no foco de um sismo, a partir do valor da respetiva

Magnitude de Richter<sup>1</sup> ( $M_L$ ), pode ser efetuado pela seguinte fórmula:  $E = 10^{(11,8 + 1,5M)}$ .

Na **Escala de Magnitude de Richter**, o aumento de uma unidade corresponde a um aumento da energia libertada de cerca de 31,6 vezes. Assim, um sismo com magnitude 7 liberta uma quantidade de energia no foco 31,6 vezes superior a um com magnitude 6 e 998,6 ( $31,6 \times 31,6$ ) vezes superior a um com magnitude 5.

Embora a magnitude de Richter seja a mais conhecida, verifica-se que, para sismos muito fortes, a Magnitude de Momento ( $M_w$ ), proposta por H. Kanamori em 1977, permite uma estimativa mais precisa da dimensão do sismo. O momento sísmico é uma quantidade física proporcional à extensão do deslocamento na falha multiplicado pela área da superfície da falha que se moveu, podendo ser estimado a partir de sismogramas (ou com base em medições geodésicas).

Atualmente, a magnitude de momento é a mais utilizada internacionalmente, sendo frequentemente confundida com a de Richter pela comunicação social.

As escalas de magnitude são abertas, isto é, são escalas sem valor máximo nem mínimo. Os maiores sismos alguma vez registados ocorreram em 1960, no Chile, e em 1964, no Alasca, com magnitude de Richter 8,5 ( $M_w$  9,5) e 8,6 ( $M_w$  9,2), respetivamente.

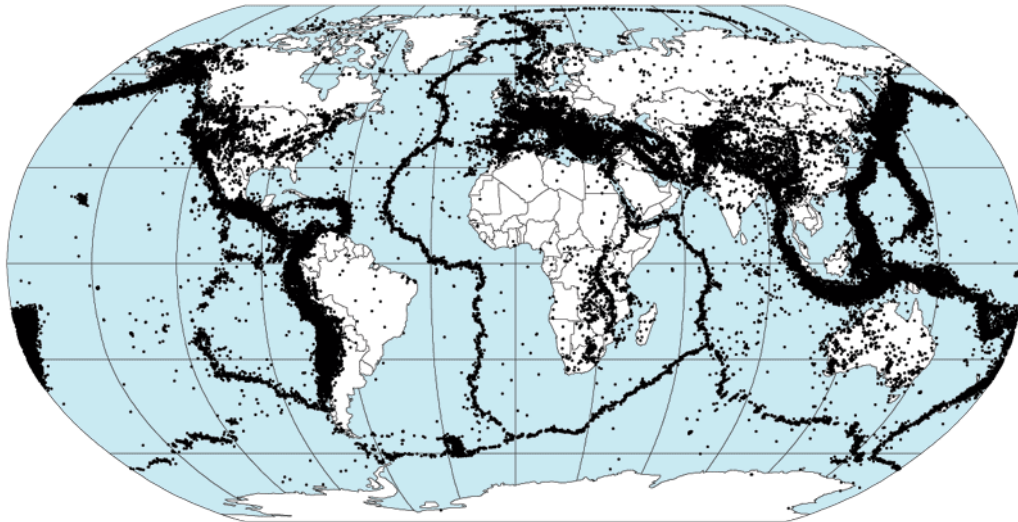
### **1.5. Sismos e tectónica de placas**

A distribuição mundial dos sismos não é aleatória, ocorrendo predominantemente ao longo de faixas bem definidas, correspondentes a fronteiras (divergentes, convergentes e transformantes) entre placas tectónicas. Estes sismos, denominados **sismos interplacas**, ocorrem principalmente ao longo de três grandes zonas sísmicas do planeta:

- A cintura circumpacífica, localizada, como a denominação indica, ao longo das margens do Oceano Pacífico (Fig. 9).
- A zona mediterrânica-asiática, que se estende dos Açores à Indonésia (Java e Sumatra), atravessando o Mediterrâneo, a Anatólia, o Cáucaso, as montanhas do Irão, os Trans-Himalaias, os Himalaias e a península Indochinesa (Fig. 9).
- O sistema das cristas ou dorsais oceânicas, a mais longa cadeia montanhosa da Terra, que se estende por aproximadamente 65000 km, através dos cinco oceanos do mundo (Fig. 9).

---

<sup>1</sup> Também denominada Escala de Magnitude Local ( $M_L$ ).

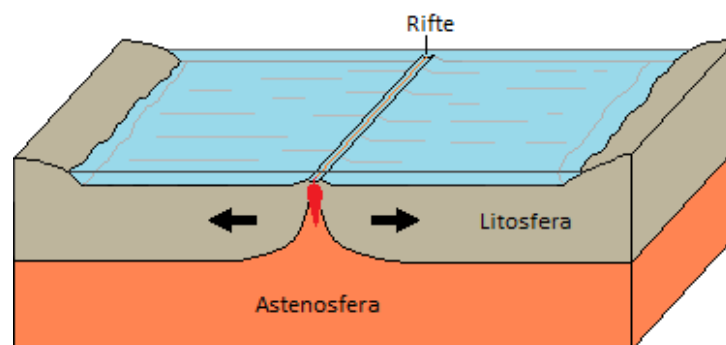


**Figura 9** – Localização dos epicentros dos 358214 sismos registados entre 1963 e 1998. Fonte: NASA, DTAM project team, <http://denali.gsfc.nasa.gov/dtam/seismic/>, Domínio Público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35429>.

O sistema das dorsais oceânicas corresponde a fronteiras divergentes de placas, enquanto a cintura circumpacífica e a zona mediterrânica-asiática correspondem a fronteiras convergentes de placas.

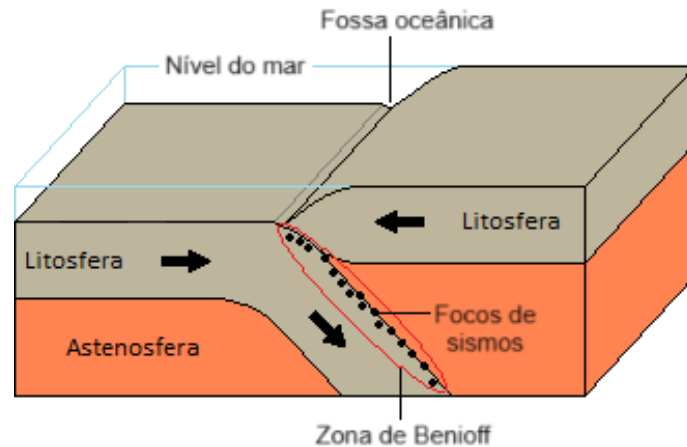
As características dos sismos gerados (magnitude, tipo de falhas envolvido e profundidade dos focos) variam consoante o respetivo enquadramento tectónico (tipo de fronteira de placas onde são gerados).

Os **sismos em fronteiras divergentes** (fronteiras onde as placas se afastam uma da outra – Fig. 10) estão associados a movimentações de falhas normais, apresentam magnitudes baixas e os seus focos tendem a ser pouco profundos (menos de 20 km de profundidade).



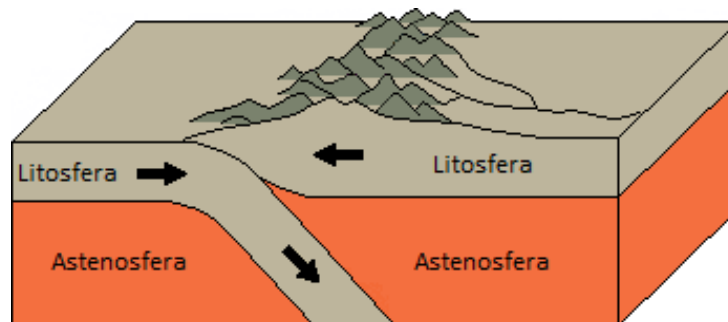
**Figura 10** – Diagrama esquemático representando uma fronteira de placas divergente.

Os **sismos em fronteiras convergentes** (fronteiras onde as placas se movem uma em direção à outra), de elevada magnitude, estão associados a movimentações de falhas inversas e cavalgamentos. Estas fronteiras de placas podem ser de subducção ou de colisão:



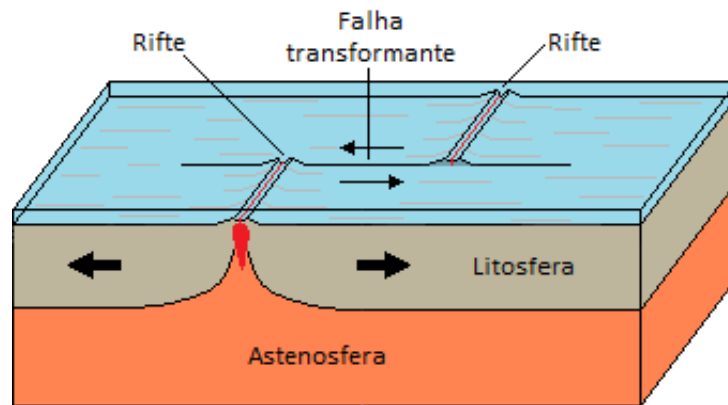
**Figura 11** - Diagrama esquemático representando uma fronteira (de placas convergentes) de subducção.

- Fronteiras de subducção (uma placa oceânica afunda-se sob uma placa continental ou oceânica – Fig. 11): a placa oceânica é fria e mantém-se frágil à medida que se afunda, podendo, por isso, fraturar sob compressão. Quando isto acontece, geram-se sismos que definem uma zona de focos sísmicos gradualmente mais profundos (até 700 km de profundidade) sob a placa cavalgante (Zona de Benioff – Fig. 11). Exemplo: Cintura de Fogo do Pacífico.
- Fronteiras de colisão (duas placas continentais colidem – Fig. 12): Os focos dos sismos (podem ser pouco profundos ou ocorrer até profundidades de cerca de 200 km. Exemplo: Cadeia montanhosa dos Himalaias).



**Figura 12** - Diagrama esquemático representando uma fronteira (de placas convergentes) de colisão.

Os **sismos em fronteiras transformantes** (fronteiras onde as placas deslizam horizontalmente, uma em relação à outra – fig. 13) resultam de movimentos de falhas de desligamento, as suas magnitudes podem ser elevadas e os seus focos são tendencialmente pouco profundos (geralmente menos de 100 km de profundidade). O exemplo mais conhecido de falha transformante é a falha de Santo André (Califórnia).



**Figura 13** – Diagrama esquemático representando uma fronteira de placas transformante.

Podem ainda ocorrer sismos em zonas estáveis do interior de placas tectônicas, afastadas dos seus limites (**sismos intraplacas** – Fig. 9). Muitos deles resultam da reativação de falhas antigas, embora as suas causas nem sempre sejam bem compreendidas.

## 2. Perigos sísmicos

Os perigos sísmicos correspondem aos fenômenos físicos perigosos que resultam da ocorrência de um sismo, podendo ser categorizados em primários e secundários. Os perigos sísmicos primários correspondem aos fenômenos cuja ocorrência está mais diretamente relacionada com o sismo (vibração do solo, rotura superficial e fissuras, levantamento e subsidência cossísmicos, liquefação e movimentos de massa). Os perigos secundários correspondem a fenômenos originados pelos perigos primários (*tsunamis*, *seiches* sísmicas, inundações, incêndios e libertação de gases subterrâneos) (PNSN, s/d; Murray *et al.*, 2021).

### 2.1. Perigos sísmicos primários

**Vibração do solo** – A vibração do solo resultante da passagem das ondas sísmicas, especialmente das ondas superficiais, nas proximidades do epicentro é responsável pela maior parte dos danos causados por um sismo. A intensidade da vibração do solo depende de alguns fatores:

- Magnitude do sismo: geralmente, quanto maior a magnitude do sismo, maior a intensidade e a duração da vibração gerada.
- Distância epicentral: geralmente, a vibração sísmica é mais intensa nas proximidades do epicentro e diminui com a distância ao mesmo.
- Características geológicas locais: geralmente, sedimentos não consolidados sofrem vibração mais intensa do que rocha sólida.

**Rotura superficial e fissuras** – Deslocamentos do terreno que ocorrem, durante ou imediatamente após um sismo, ao longo da interseção entre a superfície e a falha onde se gerou o sismo. A rotura superficial representa a continuação ascendente do movimento da falha em profundidade (Fig. 14), enquanto as fissuras correspondem a deslocamentos menores (Murray *et al.*, 2021).

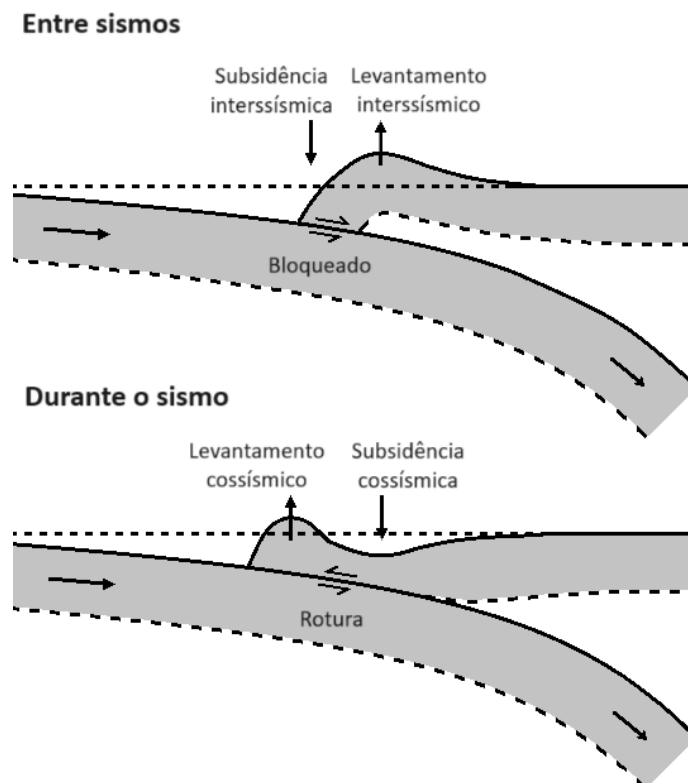


**Figura 14** – Rotura superficial resultante do sismo de 1999 em Ji-Ji, Taiwan. O levantamento da parte montante do rio destruiu a ponte e criou uma cascata com cerca de 6 m de altura. Fonte: <https://www.pnsn.org/outreach/earthquakehazards/surface-rupture>.

**Levantamento e subsidência cossísmicos** – Correspondem a deformações verticais do terreno, diretamente associadas a movimentações sísmicas de falhas normais ou inversas. Estes processos não costumam ser destrutivos, contudo, grandes sismos em zonas de subducção podem causar significativas reconfigurações persistentes (prolongando-se por décadas) ou permanentes da linha de costa (Figs. 15 e 16) (Styron, 2019).



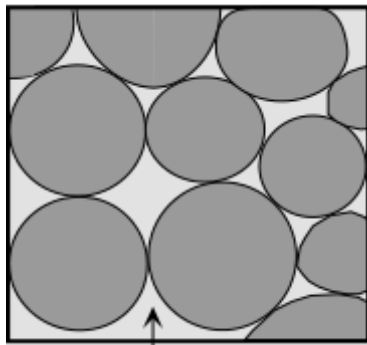
**Figura 15** – “Floresta fantasma” da praia de Neskowin (Oregon, EUA). A floresta original foi destruída devido a subsidência cossísmica. Segundo datação por  $^{14}\text{C}$ , os troncos têm 2000 anos. Fonte: <https://openoregon.pressbooks.pub/evergreenadvanced/chapter/oregon-coast-has-a-ghost-forest-2/>.



**Figura 16** – Diagrama esquemático ilustrando os processos de levantamento e subsidência cossísmicos numa zona de subducção. Adaptado de Keller & Pinter (2002).

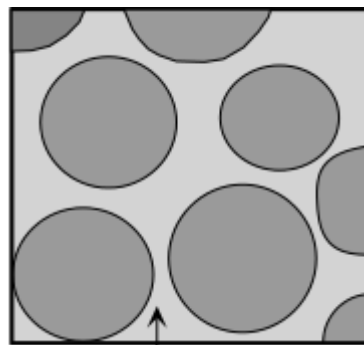
**Liquefação** – Este fenómeno ocorre quando vibração sísmica forte atinge sedimentos não consolidados, saturados em água. A vibração elimina o contacto entre os grãos que constituem os sedimentos, fazendo com que estes percam coesão e tendam a fluir (Fig. 17). Durante um sismo, a liquefação pode causar danos avultados se ocorrer sob edifícios ou outras estruturas (Fig. 18).

**Sedimento saturado em água**



A água preenche o espaço entre os grãos. A fricção entre estes mantém o sedimento coeso.

**Sedimento liquefeito**



A água rodeia todos os grãos, eliminando o contacto entre estes. O material comporta-se como líquido.

**Figura 17** – Diagramas esquemáticos ilustrando o processo de liquefação dos sedimentos. Adaptado de Nelson (2016).



**Figura 18** – Efeito da liquefação do terreno após o sismo de 1964, em Niigata, Japão Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Liquefaction\\_at\\_Niigata.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Liquefaction_at_Niigata.JPG).

**Movimentos de massa** – Em regiões montanhosas, a vibração do solo provocada por sismos pode desencadear diversos tipos de movimentos de massa, tais como quedas de rochas e detritos, deslizamentos (Fig. 19), fluxos detríticos e avalanches.



**Figura 19** – Deslizamento resultante do sismo de Las Colinas (El Salvador) em 2001. Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/ElSalvadorslide.jpg>.

## 2.2. Perigos sísmicos secundários

**Tsunamis** – Um *tsunami* corresponde a um conjunto de ondas gigantes que se propagam no oceano a grande velocidade, podendo causar danos a milhares de quilómetros de distância (Fig. 20). Gera-se um *tsunami* quando um sismo com rotura superficial no fundo marinho causa o deslocamento de grande volume de água. Este deslocamento também pode ocorrer como consequência de um grande deslizamento submarino gerado pelo sismo ou devido a uma combinação de rotura superficial e deslizamento (Daniell *et al.*, 2017).



**Figura 20** – *Tsunami* gerado pelo sismo de 11 de março de 2011, galgando paredão de proteção contra *tsunamis* com 10 m de altura (Miyako, Japão). Fonte: [https://www.flickr.com/photos/ophelia\\_jane\\_julia/5534414080](https://www.flickr.com/photos/ophelia_jane_julia/5534414080).

Os *tsunamis* têm elevado potencial destrutivo e podem trazer consequências calamitosas para as áreas atingidas. Na manhã de 24 de dezembro de 2004, um sismo de magnitude de momento 9,1, com epicentro na fossa oceânica ao largo da costa de Sumatra, Indonésia, gerou um tsunami que devastou diversas comunidades costeiras do Oceano Índico, causando cerca de 225.000 vítimas mortais em 14 países.

**Seiches sísmicas** – Ondas estacionárias resultantes da ressonância de massas de água fechadas ou semifechadas (e.g., rios, estuários, reservatórios, lagos, piscinas) à passagem das ondas sísmicas. Os primeiros registos escritos da observação deste tipo de ondas, que se podem gerar a grande distância do epicentro, datam de 1755. Na sequência do sismo que abalou Lisboa, foi descrita a ocorrência de *seiches* em diversos portos ingleses e lagos escoceses.

**Incêndios** – A deflagração de incêndios após a ocorrência de sismos é algo que ocorre com frequência, uma vez que estes podem derrubar linhas elétricas e/ou danificar condutas de abastecimento de gás. O problema pode agravar-se se as canalizações de água forem também danificadas pelo sismo, pois não haverá água para combater os incêndios. Os incêndios que deflagram na sequência de sismos podem provocar danos mais graves do que a vibração sísmica. Por exemplo, em San Francisco (Califórnia, EUA), no sismo de 1906, mais de 90% dos danos nos edifícios da cidade foram causados por incêndios (Fig. 21).



**Figura 21** – Vista da cidade de San Francisco (Califórnia, EUA), mostrando a dimensão dos incêndios deflagrados na sequência do sismo de 18 de abril de 1906. Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:San\\_Francisco\\_1906\\_fire\\_02\\_DA-SN-03-00958.JPEG#/media/File:San\\_Francisco\\_1906\\_fire\\_02\\_DA-SN-03-00958.JPEG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:San_Francisco_1906_fire_02_DA-SN-03-00958.JPEG#/media/File:San_Francisco_1906_fire_02_DA-SN-03-00958.JPEG).

**Inundações** – Os sismos podem originar inundações na sequência de *tsunamis*, fenómenos de subsidência, obstrução de linhas de água devido à ocorrência de deslizamentos ou destruição de diques.

**Gases subterrâneos** – A movimentação de falhas e os sismos assim gerados podem provocar a libertação de gases subterrâneos perigosos para o ser humano. Estes gases perigosos podem ter origem magmática (e.g., CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Hg), resultar do decaimento radioativo de minerais (do granito) com urânio, libertando radão, ou ser

produzidos pela decomposição biogénica de resíduos antropogénicos (e.g., aterros sanitários), libertando, principalmente, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (Murray *et al.*, 2021).

### 3. Perigosidade sísmica

A perigosidade sísmica corresponde à estimativa da vibração do solo expectável para determinado local, com base na sismicidade e características das fontes sísmicas regionais. Para a estimativa da perigosidade sísmica pode recorrer-se a duas abordagens distintas: determinística ou probabilística (Kramer, 1996).

Na **abordagem determinística**, é desenvolvido um cenário sísmico particular, sobre o qual se baseia a avaliação da perigosidade da vibração do solo. Este cenário consiste em supor a ocorrência, em determinado local, de um sismo de determinada magnitude (sismo de controlo – sismo histórico mais importante). Esta abordagem permite obter o cenário sísmico mais gravoso, contudo, não permite determinar a probabilidade de ocorrência do sismo de controlo, nem a probabilidade de o sismo de controlo ocorrer no local em estudo, nem o nível de vibração expectável durante determinado período (Kramer, 1996).

Na **abordagem probabilística**, são explicitamente consideradas as incertezas quanto à magnitude, localização e momento de ocorrência do sismo (Kramer, 1996). Nesta abordagem, a severidade dos movimentos do solo é frequentemente expressa pela aceleração do solo, sendo a perigosidade sísmica definida como a probabilidade de a aceleração máxima do solo, no local considerado, exceder determinado valor de referência num certo período (Cabral, 2003). Para estimar esta probabilidade, seguem-se usualmente cinco etapas (Cabral, 2003; Baker, 2015; Ramalho, 2018):

- 1) Identificação das fontes sísmicas (falhas ativas ou zonas sismogénicas) capazes de originar acelerações do solo danosas no local considerado.
- 2) Estabelecimento do modelo estatístico da ocorrência de sismos. É definida, para cada fonte sísmica, a relação entre a frequência com que aí são gerados sismos e as respetivas magnitudes, num determinado período. Esta relação pode ser expressa pela lei de Gutenberg-Richter<sup>2</sup>, a qual estabelece uma dependência linear entre o logaritmo do número médio anual de sismos e as respetivas magnitudes.
- 3) Aplicação de uma função de atenuação, atendendo ao efeito de atenuação das vibrações sísmicas com a distância percorrida entre a fonte e o local considerado.
- 4) Determinação da probabilidade de ser atingido um determinado valor de aceleração do solo (A) no local considerado.
- 5) Combinação dos resultados obtidos na etapa anterior para a obtenção da probabilidade de A ser atingido, considerando a influência integrada de todas

---

<sup>2</sup>  $\log_{10} \lambda_m = a - bm$  onde  $\lambda_m$  é o número médio anual de sismos com magnitude igual ou superior a  $m$  e  $a$  e  $b$  são constantes específicas para cada região.

as fontes sísmicas.

Tanto a abordagem determinística como a probabilística requerem um modelo de sismicidade que funcione como "base de dados" para a previsão dos efeitos da atividade sísmica futura. A definição desse modelo implica a identificação das fontes sísmicas e o conhecimento da atividade sísmica a elas associada (Cabral, 2003).

Frequentemente, na caracterização de fontes sísmicas, utiliza-se apenas a sismicidade instrumental (informação atual) e a sismicidade histórica (informação referente ao passado próximo). Contudo, esta abordagem só é aplicável em zonas de fronteira de placas caracterizadas pela ocorrência frequente de grandes sismos e, conseqüentemente, onde existem catálogos sísmicos relativamente completos. Nas regiões em que o registo histórico é incompleto ou onde os grandes sismos se repetem em intervalos de milhares a centenas de milhares de anos, torna-se imprescindível o recurso à informação geológica, referente a um período muito mais longo, por via de estudos de paleossismicidade (Cabral, 2003).

### **3.1. Falhas ativas**

**Falhas ativas** são falhas que apresentam evidências de deslocamentos suficientemente recentes para que exista probabilidade de ocorrerem novos deslocamentos num futuro relativamente próximo. A identificação de falhas ativas baseia-se em diversos critérios (Ribeiro, 1995; Cabral, 2003):

- Critérios estratigráficos: a idade da movimentação na falha é dada por relações geométricas (princípio estratigráfico da interseção), observadas no campo entre a falha e os sedimentos ou estratos. Se a falha é ativa, afeta sedimentos/estratos recentes.
- Critérios geodésicos: a monitorização por métodos geodésicos clássicos e por satélite permite mostrar o movimento relativo e lento entre estações situadas em blocos opostos da falha ativa.
- Critérios geofísicos: as falhas ativas são, por vezes, acompanhadas por anomalias geofísicas (magnéticas, gravimétricas, etc.).
- Critérios geomorfológicos: a falha apresenta expressão morfológica (escarpa de falha direta ou deslocação de elementos morfológicos).
- Critérios sismológicos: a falha apresenta atividade sísmica evidenciada por alinhamento de epicentros, instrumentais e históricos, ou de isossistas.

Sismos de magnitude igual ou superior a 6 deixam, na paisagem e em formações geológicas superficiais, evidências (primárias e/ou secundárias) que permitem a sua identificação e o seu estudo (Cabral, 2003):

- Evidências primárias: evidências diretamente relacionadas com rotura cossísmica da falha, nomeadamente, deformações tectónicas afetando a paisagem (escarpas de falha ou deslocação de elementos morfológicos) e estruturas tectónicas afetando formações superficiais recentes;
- Evidências secundárias: estruturas induzidas pelas vibrações sísmicas, tais como paleossismitos (figuras de liquefação) e deslizamentos.

A metodologia mais comum em estudos de paleossismicidade consiste na abertura de sanjas em locais selecionados com base em critérios específicos: presença de acidentes topográficos suspeitos, roturas superficiais reconhecidas e/ou sedimentos do Quaternário junto a acidentes ativos ou que se suspeita serem ativos. Os estudos geológicos detalhados em sanjas têm como objetivos confirmar a atividade tectónica, identificar paleossismos, reconhecer deslocamentos recorrentes e colher material para datação de modo a determinar períodos de recorrência dos paleossismos (Cabral, 2003).

Na estimativa da magnitude dos paleossismos, identificados com base na análise de escarpas de falha e/ou sanjas, e do sismo máximo que uma falha ativa tem potencial para gerar, utilizam-se correlações entre magnitude e parâmetros de falha, fundamentadas em dados empíricos referentes a sismos atuais com rotura superficial cossísmica (Cabral, 2003). As correlações mais utilizadas baseiam-se nas relações entre magnitude e comprimento de rotura superficial, magnitude e área de rotura e magnitude e deslocamento superficial cossísmico (Wells & Coppersmith, 1994).

A relação de escala entre a dimensão da rotura na falha e a magnitude do sismo gerado está bem expressa no momento sísmico ( $M_0$ )<sup>3</sup>, parâmetro físico no qual se fundamenta a acima referida magnitude de momento ( $M_w$ )<sup>4</sup> (Cabral, 2003).

Em estudos de paleossismicidade, após identificação dos deslocamentos cossísmicos e/ou das dimensões da rotura superficial, a utilização das correlações empíricas acima referidas é relativamente imediata. Contudo, a sua utilização na estimativa da magnitude e do deslocamento superficial associados a sismos futuros que determinada falha ativa pode gerar, implica o conhecimento da geometria superficial e, se possível, profunda da falha (Cabral, 2003).

---

<sup>3</sup>  $M_0 = \mu uA$  onde  $\mu$  corresponde ao módulo de rigidez do material rochoso e  $u$  ao deslocamento médio no segmento, de área  $A$ , da falha que sofreu rotura.

<sup>4</sup>  $M_w = 2/3 \log M_0 - 6,0$ .

#### 4. Risco Sísmico

O risco sísmico em determinada área geográfica é calculado probabilisticamente, em função da perigosidade sísmica, da exposição e da vulnerabilidade de pessoas, bens edificados e atividades socioeconómicas e da capacidade de resposta<sup>5</sup>.

A perigosidade sísmica é obviamente um fator importante na estimativa do risco sísmico, contudo, o conceito de risco sísmico só existe porque os sismos ameaçam a vida, as propriedades e os interesses humanos. Neste sentido, os principais fatores que condicionam o risco sísmico são a densidade populacional (exposição), os regulamentos de construção (vulnerabilidade) e a preparação para a emergência (capacidade de resposta).

**Densidade populacional:** Os sismos que afetam zonas densamente povoadas, com mais edifícios e estruturas de grande altura, tendem a causar mais danos do que os que afetam zonas pouco povoadas.

**Regulamentos de construção:** Como grande parte das vítimas mortais resultantes de um sismo são provocadas pelo colapso de edifícios e outras construções humanas, muitos sismólogos consideram que "os sismos não matam pessoas, o que as mata são edifícios mal concebidos e mal construídos". Assim, a existência de regulamentos nacionais rigorosos, obrigando à conceção e construção de edifícios e outras estruturas que não colapsem durante um sismo, é de extrema importância para a redução do número de vítimas e os danos dele resultantes. Este facto é evidente quando se comparam os sismos ocorridos em zonas com e sem regulamentos de construção resistentes aos sismos:

Por exemplo, o sismo de 12 de janeiro de 2010, de magnitude 7,0 Mw, ocorrido no Haiti, onde a maior parte da construção era de betão mal armado, causou enorme destruição e um número estimado de 250.000 vítimas mortais, enquanto o sismo de 27 de fevereiro de 2010, de magnitude 8,8 Mw, ocorrido no Chile, um país onde foram aplicados códigos de construção resistentes a sismos, causou "apenas". cerca de 550 vítimas mortais.

Portugal foi um dos pioneiros na adoção de regulamentos de construção resistente a sismos. Os edifícios Pombalinos, construídos após o sismo que devastou Lisboa em 1755, sob normas impostas pelo Marquês de Pombal (Secretário de Estado do Reino), representam um marco importante na engenharia sísmica porque apesar de aparentarem ser de alvenaria, são constituídos por uma estrutura tridimensional de madeira (gaiola pombalina – Fig. 22), embebida nas paredes de alvenaria, que

---

<sup>5</sup> Em estudos de risco sísmico, é comum estimarem-se indicadores de risco de longo prazo, avaliando-se, por exemplo, os valores anuais esperados das perdas humanas e económicas causadas por sismos em determinada área geográfica (Sousa, 2012).

permite a absorção de parte das vibrações sísmicas. A concepção original da estrutura da gaiola pretende salvaguardar pessoas e bens no interior do edifício, evitando o seu colapso, mesmo na eventualidade de ocorrência de destacamento e queda da alvenaria das fachadas (NESDE, 2005).



**Figura 22** – Maquete de gaiola pombalina. Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gaiola\\_pombalina.jpg#/media/Ficheiro:Gaiola\\_pombalina.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gaiola_pombalina.jpg#/media/Ficheiro:Gaiola_pombalina.jpg).

**Preparação para a emergência:** A resposta eficaz durante e após um sismo (ou de qualquer outro desastre) passa pelo desenvolvimento de planos de gestão de riscos e de emergência, pela capacitação de equipas de resposta a desastres e pela educação e consciencialização pública sobre a efetividade do risco sísmico e comportamentos seguros a adotar antes, durante e depois de um sismo.

Um fator muito importante para a aumentar a capacidade de resposta a um sismo seria poder prever a sua ocorrência. Infelizmente, isso (ainda?) não é possível, contudo, em alguns países já existem sistemas de Alerta Precoce de Sismos (APS) que permitem antecipar, na ordem de segundos a minutos, a chegada das ondas sísmicas a locais específicos. Estes sistemas são, principalmente, baseados em dois conceitos (1) A informação viaja mais rápido do que as ondas sísmicas (ondas mecânicas); e (2) a maior parte da energia de um sismo é transportada pelas ondas S e de superfície, que chegam depois das ondas P (Strauss & Allen, 2016).

Quando as ondas P são detetadas pela rede de sensores sísmicos, os dados são rapidamente processados e, numa questão de segundos, são estimadas a localização e a magnitude do sismo. Se o sistema determinar que a magnitude do sismo

ultrapassa determinado limite, é emitido um alerta. Tal sistema de alerta não é eficaz perto do epicentro porque o intervalo S-P é demasiado curto. Mas, com o aumento da distância ao epicentro, esse intervalo torna-se progressivamente maior.

O período entre o alerta e a chegada das ondas sísmicas a determinado local, embora possa parecer muito curto, pode reduzir os impactos de um sismo em muitos setores da sociedade. Recebendo um alerta no seu telemóvel, as pessoas podem "baixar-se, proteger-se e aguardar" ou, havendo tempo suficiente, evacuar edifícios perigosos ou deslocar-se para locais mais seguros dentro de um edifício, minimizando ferimentos ou fatalidades. Ações automatizadas podem ser tomadas, incluindo a paragem dos elevadores no andar mais próximo e a abertura das portas para evitar ferimentos, a redução da velocidade dos comboios de alta velocidade para evitar descarrilamentos, o encerramento de gasodutos para prevenir incêndios, e a mudança de sinais luminosos para impedir que veículos entrem em estruturas vulneráveis, como pontes e túneis (Cremen & Galasso, 2020).

Em 1991, o México foi o primeiro país do mundo a dispor de um sistema de APS (ver caixa) (CIRES, 2024). Atualmente, já existem sistemas de APS em diversos países: China, Coreia do Sul, EUA, Índia, Japão, Roménia e Turquia (Cremen & Galasso, 2020).

#### **México, país pioneiro em APS.**

Em 1991, foi criado o Sistema de Alerta Sísmico da Cidade do México. Com o tempo, o sistema foi sendo alargado e, atualmente, os alertas sísmicos do Sistema de Alerta Sísmico do México (SASMEX) são recebidos pela população da Cidade do México, de Puebla, de Acapulco, de Chilpancingo, de Morelia, de Oaxaca, de Toluca, de Cuernavaca e de Colima, correspondente a mais de 25 milhões de pessoas em zonas de risco sísmico. Dependendo da distância de determinada cidade ao epicentro e das primeiras deteções das estações sismográficas, o SASMEX consegue emitir alertas sísmicos cerca de 20 a 120 segundos antes da chegada das ondas sísmicas. Por exemplo, se ocorrer um sismo na zona costeira de Michoacán, a Cidade do México receberá o alerta mais de 100 segundos antes da chegada das ondas sísmicas, mas as cidades próximas do epicentro terão um tempo de avanço mais curto (CIRES, 2024).

## 5. Sismicidade em Portugal

No território continental português, a atividade sísmica caracteriza-se pela ocorrência de sismos de magnitude moderada ( $M < 5$ ), com alguns registos de magnitude superior ( $5 \leq M \leq 8$ ), estes últimos com especial incidência na costa sul e sudoeste (Bezzeghoud *et al.*, 2012).

No arquipélago dos Açores, a sismicidade é essencialmente caracterizada por eventos superficiais (profundidades hipocentrais não superiores a 10 km) e de magnitude reduzida a moderada ( $M \leq 6$ ), embora haja registos instrumentais de dois sismos de magnitude igual ou superior a 7 (em 1939 e 1980). O arquipélago da Madeira não apresenta sismicidade histórica ou instrumental significativa (Bezzeghoud *et al.*, 2012).

O sismo mais antigo de que há registo, terá ocorrido em 63 a.C, tendo sido seguido de tsunami que afetou as atuais costas portuguesas e galegas. De entre os acontecimentos históricos e instrumentais que marcaram a história da sismologia em Portugal, destacam-se os seguintes eventos:

**26 de janeiro de 1531** – Sismo com magnitude estimada de 7,1 e epicentro na região de Benavente, responsável por grande destruição na região de Lisboa (Bezzeghoud *et al.*, 2012).

**27 de dezembro de 1722** – Sismo com epicentro no mar, ao largo de Tavira, e magnitude estimada de 7,8 (Bezzeghoud *et al.*, 2012). Causou grandes prejuízos humanos e materiais na zona costeira algarvia, com particular incidência em Faro, Loulé e Tavira. A este sismo seguiu-se um *tsunami* local em Tavira.

**1 de novembro de 1755** – Sismo com epicentro localizado ao largo do sudoeste de Portugal e magnitude de momento estimada de 7,7 (Fonseca, 2020). Foi responsável pela maior catástrofe sísmica em Portugal, causando destruição generalizada em Lisboa e Algarve e tendo sido sentido em toda a Europa e norte de África. Ao sismo, que deu origem a um gigantesco incêndio, seguiu-se um tsunami que atingiu toda a região costeira de Portugal, fazendo-se sentir também no Golfo de Cádiz, a norte de Marrocos, Açores e Madeira. Este tsunami atingiu a amplitude máxima no sudoeste algarvio (10 a 15 m) e em Lisboa (6 m). O efeito combinado do sismo, do incêndio e do tsunami devastou a cidade de Lisboa, causando número incerto de vítimas mortais (várias dezenas de milhar) (Bezzeghoud *et al.*, 2012).

**11 de novembro de 1858** – Sismo com magnitude estimada de 7,2 e epicentro ao largo de Setúbal responsável por grande destruição nessa região (Bezzeghoud *et al.*, 2012).

**23 de abril de 1909** – Sismo com magnitude estimada de 7,6 e epicentro na região de Benavente. As zonas mais afetadas foram as localidades de Samora Correia e Benavente, onde 46 pessoas perderam a vida e várias dezenas ficaram gravemente feridas (Bezzeghoud *et al.*, 2012).

**21 de fevereiro de 1969** – Sismo com epicentro no oceano Atlântico, a sudoeste do Cabo de São Vicente (a cerca de 230 km a sudoeste de Lisboa), e magnitude de momento 8,0. Provocou alarme entre a população e cortes nas telecomunicações e no fornecimento de energia elétrica. Em Portugal, registaram-se 13 vítimas mortais como consequência direta ou indireta do sismo. A maior intensidade (VIII) foi sentida no Algarve (Miranda & Carrilho, 2014).

**1 de janeiro de 1980** – Sismo com magnitude de Richter 7,2 (Bezzeghoud *et al.*, 2012) e epicentro no oceano, a cerca de 50 km a WNW de Angra do Heroísmo. Causou elevados danos materiais nas ilhas Terceira e de S. Jorge, e danos menores na ilha Graciosa. O sismo provocou a destruição total ou parcial de 15.000 edifícios, originando 73 vítimas mortais. Este sismo originou ainda um tsunami de fraca magnitude, o qual não provocou quaisquer danos (IVAR/CIVISA, 2020).

**9 de julho de 1998** – Sismo com magnitude de momento 6,2 (Bezzeghoud *et al.*, 2012) e epicentro a cerca de 16 km a NNE da cidade da Horta. Atingiu as ilhas do Faial, Pico e S. Jorge, originando vasta destruição e provocando nove vítimas mortais. Na ilha do Faial, a mais fortemente danificada, 1500 casas ficaram parcial ou totalmente destruídas e verificaram-se significativos danos materiais na rede viária, no sistema de abastecimento de água e nas redes de distribuição de energia e de comunicações (IVAR/CIVISA, 2008).

## 6. O que fazer antes, durante e depois de um sismo

Todas as pessoas que vivem em zonas suscetíveis a sismos devem ser informadas sobre as medidas que podem tomar para minimizar o risco, antes, durante e depois de um sismo. As medidas principais são apresentadas em pormenor no panfleto (ANEPC & APS, 2018) disponibilizado nas páginas web da Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil e são aqui resumidas.

### 6.1. Antes

- Elabore um plano de emergência para a sua família, certificando-se que todos sabem o que fazer, em caso sismo.
- Prepare a sua casa por forma a facilitar os movimentos, libertando corredores e passagens. Fixe as estantes ou móveis pesados às paredes de sua casa.
- Identifique os locais mais seguros para se abrigar: vãos de portas interiores, cantos de paredes-mestras, debaixo de mesas e de camas.
- Identifique os locais a evitar: junto a janelas, espelhos, candeeiros, móveis e outros objetos que possam cair, bem como elevadores e saídas para a rua.
- Organize o seu kit de emergência, mantendo-o em lugar acessível e conhecido por todos.
- Tenha em casa reserva de água e alimentos enlatados para dois ou três dias, bem como um extintor (verifique periodicamente prazos de validade).
- Conheça os três gestos que podem salvar vidas:
  - **Baixar**-se sobre os joelhos, para evitar quedas;
  - **Proteger** a cabeça, o pescoço e os olhos com os braços e as mãos;
  - **Aguardar** até que a terra pare de tremer.

### 6.2. Durante

Se estiver dentro de casa ou de um edifício:

- Não se precipite para as escadas e nunca utilize elevadores;
- Mantenha-se afastado de vidros e de todos os objetos que possam estilhaçar-se ou cair;
- Abrigue-se junto a uma viga ou pilar, nos cantos das salas ou debaixo de uma mesa ou cama robusta;
- Execute os três gestos que podem salvar vidas: “Baixar, Proteger e Aguardar”.

Se estiver na rua, mantenha-se afastado dos edifícios, dos postes de eletricidade e de tudo o que possa cair/desabar.

Se estiver a conduzir, pare a viatura longe de árvores de grande porte, edifícios, muros, taludes, postes e cabos de alta tensão e permaneça dentro dela.

### **6.3. Depois**

- Mantenha-se atento, pois podem ocorrer réplicas e eventualmente um tsunami.
- Certifique-se que não está ferido e procure ajudar quem esteja por perto.
- Não se precipite para as escadas ou saídas e nunca utilize elevadores.
- Não fume, nem acenda fósforos ou isqueiros porque podem existir fugas de gás.
- Corte a água e o gás e desligue a eletricidade.
- Evite o contacto com vidros, cabos elétricos e objetos metálicos.
- Limpe urgentemente os produtos inflamáveis que tenham sido derramados (e.g., álcool ou tintas).
- Ligue o rádio e siga as recomendações que forem difundidas.
- Abandone a sua casa se verificar que esta sofreu danos graves ou existir perigo de derrocada.
- Logo que seja possível, dirija-se para local aberto, preferencialmente num ponto alto, longe do mar ou cursos de água e só regresse a casa quando as autoridades o aconselharem.
- Deixe as ruas livres para as viaturas de socorro.
- Não utilize o telefone. Em alternativa, use o SMS ou as redes sociais para comunicar com a família e os amigos.
- Em caso de emergência (feridos graves, fugas de gás ou incêndios), ligue 112.

## Referências

- ANEPC & APS (2018). *Sismos - Prepare-se e proteja-se*. Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil e Associação Portuguesa de Seguradores. <https://prociv.gov.pt/pt/documentacao/sismos-prepare-se-e-proteja-se/>
- Baker, J. W. (2015). *An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. White Paper Version 2.1. [http://www.jackwbaker.com/Publications/Baker\\_\(2015\)\\_Intro\\_to\\_PSHA.pdf](http://www.jackwbaker.com/Publications/Baker_(2015)_Intro_to_PSHA.pdf)
- Bezzeghoud, M., Borges, J. F., & Caldeira, B. (2012). Fontes sísmicas ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a Argélia: um modelo sismotectónico. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, & J. C. Kullberg (Eds.). *Geologia de Portugal* (Volume 2) (pp. 747-790). Escolar Editora.
- Cabral, J. (2003). A Geologia na avaliação da perigosidade sísmica. *Geonovas*, 17, 21-26. [https://issuu.com/associacaoportuguesageologos/docs/apg\\_geonovas\\_17](https://issuu.com/associacaoportuguesageologos/docs/apg_geonovas_17)
- CIRES (2024). *Sistema de Alerta Sísmica Mexicano*. Centro de Instrumentación y Registro Sísmico. [http://www.cires.org.mx/sasmex\\_n.php](http://www.cires.org.mx/sasmex_n.php)
- Cremen, G. & Galasso, C. (2020). Earthquake early warning: Recent advances and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 205, 103184. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103184>
- Daniell, J. E., Schaefer, A. M., & Wenzel, F. (2017). Losses associated with secondary effects in earthquakes. *Frontiers in Built Environment*, 3(30). <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00030>
- Fonseca, J. D. (2020). A reassessment of the magnitude of the 1755 Lisbon earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110(1), 1-17.
- IVAR/CIVISA (2008). *Relembrar o terramoto de 9 de julho de 1998*. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos / Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores. [http://www.ivar.azores.gov.pt/noticias/Paginas/cms\\_173\\_Relembrar-o-terramoto-de-9-de-Julho-de-1998-.aspx](http://www.ivar.azores.gov.pt/noticias/Paginas/cms_173_Relembrar-o-terramoto-de-9-de-Julho-de-1998-.aspx)
- IVAR/CIVISA (2020). *Sismo de 1 de janeiro de 1980 foi há 40 anos*. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos / Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores. <http://www.ivar.azores.gov.pt/noticias/Paginas/20200101-40-anos-sismo-1980.aspx>
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
- Keller, E. & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics. Earthquakes, Uplift and Landscape* (2<sup>nd</sup> ed.). Prentice Hall.

- Mavrouli, M., Mavroulis, S., Lekkas, E., & Tsakris, A. (2023). The impact of earthquakes on public health: a narrative review of infectious diseases in the post-disaster period aiming to disaster risk reduction. *Microorganisms*, *11*, 419. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020419>
- Miranda, J. M. & Carrilho, F. (2014). *45 anos do sismo de 28 de fevereiro de 1969*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [https://www.ipma.pt/export/sites/ipma/bin/docs/relatorios/geofisica/rel\\_sismo-1969.pdf](https://www.ipma.pt/export/sites/ipma/bin/docs/relatorios/geofisica/rel_sismo-1969.pdf)
- Murray, V., Abrahams, J., Abdallah, C., Ahmed, K., Angeles, L., Benouar, D., Brenes Torres, A., Chang Hun, C., Cox, S., Douris, J., Fagan, L., Fra Paleo, U., Han, Q., Handmer, J., Hodson, S., Khim, W., Mayner, L., Moody, N., Moraes, O. L. L., Nagy, M., Norris, J., Peduzzi, P., Perwaiz, A., Peters, K., Radisch, J., Reichstein, M., Schneider, J., Smith, A., Souch, C., Stevance, A.-S.; Triyanti, A., Weir, M., & Wright, N. (2021). *Hazard Information Profiles: Supplement to UNDRR-ISC Hazard Definition & Classification Review: Technical Report*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, International Science Council. <https://doi.org/10.24948/2021.05>
- Nelson, S. (2016). Earthquake hazards and risks. *Natural Hazards: Lecture Notes*, Tulane University. [https://www2.tulane.edu/~sanelson/Natural\\_Disasters/eqhazards%26risks.htm](https://www2.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/eqhazards%26risks.htm)
- NESDE (2005). *A gaiola como génese da construção anti-sísmica*. Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol\\_const\\_sism.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html)
- PNSN (s/d). *Earthquake hazards overview*. Pacific NorthWest Seismic Network. <https://www.pnsn.org/outreach/earthquakehazards>
- Ramalho, M. M. P. (2018). *Avaliação da consistência da deformação sísmica nos modelos de recorrência usados no cálculo probabilista da perigosidade sísmica*. [Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/36751>
- Ribeiro, A. (1995). Falhas activas e sismos. *Colóquio/Ciências*, *17*, 34-52.
- Senos, M. L. & Carrilho, F. (2003). Sismicidade de Portugal Continental. *Física de la Tierra*, *15*, 93-110.
- Sousa, M. L. (2012). Regiões de maior risco sísmico de Portugal Continental. *P&C*, *53*, 24-26.

Strauss, A. J. & Allen, R. M. (2016). Benefits and costs of earthquake early warning. *Seismological Research Letters*, 87(3), 765–772. <https://doi.org/10.1785/0220150149>

Styron, R. (2019). *Coseismic uplift and subsidence: An underappreciated seismic threat*. Global Earthquake Model Foundation (GEM) Hazard Blog. <https://blogs.openquake.org/hazard/2019/11/19/coseismic-uplift-subsidence/>

Wells, D. L. & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

Para além das referências atrás indicadas, para a elaboração do primeiro capítulo deste documento, foi ainda consultada a seguinte bibliografia:

Earle, S. (2019). *Physical Geology* (2<sup>nd</sup> ed.). BCcampus. <https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/>

Goetzinger, J. & Jordan, T. (2010). *Understanding Earth* (6<sup>th</sup> ed.). Freeman.

IPMA (s/d). *Glossário sismológico*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <https://www.ipma.pt/pt/educativa/glossario/sismologico/>

Miranda, J. M., Costa, P. T., Luís, J. F., Matias, L., & Santos, F. M. (2016). Fundamentos de Geofísica – *Sismologia* (rev.2016.2.c). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. <https://idl.ciencias.ulisboa.pt/fundamentos-da-geofisica-sismologia>

Nelson, S. (2013). Earthquakes: causes and measurements. *Natural Hazards: Lecture Notes*, Tulane University. [https://www2.tulane.edu/~sanelson/Natural\\_Disasters/eqcauses.htm](https://www2.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/eqcauses.htm)

Plummer, C. C., Carlson, D. H., & Hammersley, D. (2016). *Physical Geology* (15<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill.

Tarback, E. J. & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física* (8<sup>va</sup> ed.) (AMR Traducciones Científicas, Trad.). Pearson. (Obra original publicada em 2004)